

**DISEÑO DE MÁQUINA PARA SIMULACIÓN DE PLANTABILIDAD
EN EL CULTIVO DEL MAÍZ**

JUAN PABLO CRUZ SÁNCHEZ

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE AUTOMÁTICA Y ELECTRÓNICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
SANTIAGO DE CALI
2006**

**DISEÑO DE MÁQUINA PARA SIMULACIÓN DE PLANTABILIDAD EN EL
CULTIVO DEL MAÍZ**

JUAN PABLO CRUZ SÁNCHEZ

**Trabajo de Pasantía para optar al título de
Ingeniero Mecatrónico**

**Director
ÁLVARO ROJAS
Ingeniero Mecatrónico**

**Coordinador
MARIO GIRALDO
Ingeniero Agrónomo**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE AUTOMÁTICA Y ELECTRÓNICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
SANTIAGO DE CALI
2006**

Nota aceptación

Aprobado por el comité de grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Autónoma de Occidente para optar al título de Ingeniero Mecatrónico.

ÁLVARO JOSÉ ROJAS
Director de Pasantía

Santiago de Cali

8 de Febrero de 2006

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	11
1. MARCO CONTEXTUAL	12
1.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA	12
1.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA DE LA EMPRESA	12
1.2.1 Antecedentes	12
1.2.2 Visión	12
1.2.3 Alcance	13
1.2.4 Gente	13
2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	14
2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	14
2.2 OBJETIVOS	14
2.2.1 Objetivo general	14
2.2.2 Objetivos específicos	14
2.3 JUSTIFICACIÓN	15
3. MARCO TEÓRICO	16
3.1 DISTRIBUIDOR MECÁNICO DE PLACA HORIZONTAL	17
3.2 DISTRIBUIDOR MECÁNICO DE PLACA VERTICAL CON DEDOS	18
3.3 DISTRIBUIDORES NEUMÁTICOS	18
4. METODOLOGÍA	21
5. DESARROLLO DEL PROYECTO	22
5.1 INTRODUCCIÓN AL MÉTODO DE DISEÑO	22
5.2 PLANTEAMIENTO DE LA MISIÓN	23

	pág.
5.3 IDENTIFICACIÓN DE LAS NECESIDADES DEL CLIENTE	24
5.3.1 Lista de necesidades del cliente	25
5.3.2 Especificaciones del producto	26
5.3.3 Benchmarking	30
5.4 GENERACIÓN, SELECCIÓN Y PRUEBA DE CONCEPTOS	33
5.4.1 Generación de conceptos	33
5.4.2 Selección de conceptos	39
5.4.3 Prueba de conceptos	41
5.5 ESPECIFICACIONES FINALES DEL PRODUCTO	48
5.6 DISEÑO DETALLADO	50
5.6.1 Documentación electrónica	51
5.6.2 Diseño arquitectural	54
5.6.3 Diagramas de flujo	56
5.6.4 Documentación mecánica	61
5.6.5 Selección de la instrumentación	64
5.6.6 Diseño del tablero de mando	65
5.7 PROTOTIPADO	66
5.7.1 Prototipo virtual del circuito electrónico	67
5.7.2 Prototipo físico del circuito electrónico	68
5.7.3 Renderizado 3D	69
6. CONCLUSIONES	70
7. RECOMENDACIONES	72
BIBLIOGRAFÍA	73

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Descripción del funcionamiento de máquinas sembradoras	16
Figura 2. Tipos de máquinas sembradoras	17
Figura 3. Sistema de distribución mecánico de placa horizontal	17
Figura 4. Sistema de distribución mecánico de placa vertical con dedos	18
Figura 5. Sistema de distribución neumático	19
Figura 6. Propuesta de ciclo de desarrollo	23
Figura 7. Máquina de simulación de plantabilidad Argentina	30
Figura 8. Caja negra	33
Figura 9. Descomposición funcional	34
Figura 10. Combinación de conceptos	37
Figura 11. Concepto 1	38
Figura 12. Concepto 2	38
Figura 13. Concepto 3	39
Figura 14. Embudo de la selección de conceptos	40
Figura 15. Aplicaciones del sensor óptico de ventana	43
Figura 16. Descripción del encoder	44
Figura 17. Concepto final	47
Figura 18. Diseño secuencial vs. recurrente	50
Figura 19. Diagrama de bloques	51
Figura 20. Mapa de conexiones eléctricas	53
Figura 21. Objeto sistema para simulación de plantabilidad	54
Figura 22. Objeto toma de datos	55
Figura 23. Flujo ingreso de datos	57
Figura 24. Flujo operaciones matemáticas	58
Figura 25. Flujo medición	59
Figura 26. Flujo software esclavo	60

	pág.
Figura 27. Imagen explosionada	63
Figura 28. Ubicación de los prototipados	66
Figura 29. Prototipo virtual microprocesador principal	67
Figura 30. Prototipo virtual microprocesador esclavo	67
Figura 31. Prototipo físico del circuito electrónico	68
Figura 32. Renderizado 3D	69

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Tipos de máquina que se requiere simular	20
Tabla 2. Identificación de las necesidades del cliente	26
Tabla 3. Declaración de las métricas con sus unidades	27
Tabla 4. Relación de las métricas con las necesidades	28
Tabla 5. Benchmarking	31
Tabla 6. Especificaciones preliminares	32
Tabla 7. Matriz de tamizaje	40
Tabla 8. Matriz de evaluación de conceptos	41
Tabla 9. Características del variador de velocidad Power Flex4	45
Tabla 10. Matriz de prueba de conceptos	46
Tabla 11. Especificaciones técnicas	47
Tabla 12. Selección de sensor óptico	64
Tabla 13. Selección encoder	64

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo 1. Plano del circuito electrónico	74
Anexo 2. Plano de estructura general	75
Anexo 3. Plano de acople de unidades de siembra	76
Anexo 4. Plano de carcasa frontal	77
Anexo 5. Plano de carcasa trasera	78
Anexo 6. Plano de distribución del tablero de mando	79
Anexo 7. Diseño gráfico del tablero de mando	80
Anexo 8. Instrucciones de uso	81
Anexo 9. Presupuesto	83
Anexo 10. Paper formato ifac	84

RESUMEN

Para la elaboración de este proyecto se utilizaron métodos de diseño estructurado como el QFD (quality function deployment), donde inicialmente se elabora un estudio detallado de las necesidades del cliente en este caso la empresa Syngenta S.A. la cual tiene la gran necesidad de mejorar el control de calidad de sus semillas y mejorar la atención al cliente, la máquina que será diseñada en el desarrollo de este proyecto será de gran ayuda para el mejoramiento de dichos aspectos, una vez terminado el estudio de necesidades en el que se creo una lista completa de necesidades organizadas por subgrupos y dándoles un nivel de importancia de con una calificación de 1 a 5, se generan diferentes conceptos que suplan dichas necesidades, dicho concepto será generado dividiendo el problema en subfunciones las cuales se combinaran entre si para obtener diferentes conceptos, de los conceptos generados solo uno será seleccionado por medio de una matriz de tamizaje y una matriz de selección de conceptos, luego se realizaran pruebas de pasa o no pasa al concepto seleccionado donde se comprobara si este es apto para ser desarrollado, por ultimo se realiza un diseño detallado, que consta de seis etapas; documentación electrónica, diseño arquitectural, diagramas de flujo, documentación mecánica, selección de la instrumentación y diseño del tablero de mando; las cuales se trabajaran en forma concurrente.

Dicho diseño servirá de guía para la posible construcción de la máquina.

INTRODUCCIÓN

Uno de los procesos más importantes para los agricultores, es el proceso de siembra ya que de una buena siembra depende una buena cosecha, es por esta razón que en los últimos años se ha incorporado mucha tecnología en las sembradoras logrando hacer de éstas, máquinas de alta precisión, pero para obtener un buen resultado es necesario que el agricultor realice una adecuada calibración previa a la siembra, labor que a veces es bastante engorrosa ya que existen muchos calibres y formas de semillas.

La empresa productora de semillas Syngenta S.A quiere darle un valor agregado a su producto entregando al agricultor los datos para la calibración de sus máquinas sembradoras.

Además también se hace necesario para la empresa probar que los calibres y las formas de las semillas producidas en la planta se adapten a estas máquinas sembradoras, para de esta manera tener un mejor control de calidad.

1. MARCO CONTEXTUAL

1.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA EMPRESA

La empresa dedicada a la producción de productos agrícolas Syngenta S.A. Esta ubicada en el Km 1,5 vía panorama entre Yumbo y Buga.

1.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA DE LA EMPRESA

1.2.1 Antecedentes En 1960, el mundo disponía de una hectárea de cultivo para alimentar a dos personas. En 1995, el alimento producido en esa hectárea era compartido por cuatro personas. Se estima que en el 2025, cinco personas deberán ser alimentadas con el producto de esa misma porción de tierra. Con el aumento de la población mundial, disminuye la superficie cultivable por persona. Por lo tanto, se requiere optimizar la productividad agrícola para satisfacer la necesidad global de alimentos. No hay otra alternativa más, que una agricultura intensa y sostenible. La industria agrícola permitirá que los agricultores produzcan más alimentos y al mismo tiempo les ayudará a preservar el medio ambiente.

Como una de las mayores industrias agrícolas en el mundo, Syngenta desempeña un papel central para que esto sea posible de manera sostenible.

1.2.2 Visión El crecimiento comienza con la Visión. Eso es lo que creemos en Syngenta, una de las empresas líder de la industria agrícola mundial, que opera en la totalidad de las principales áreas de protección de cultivos y semillas.

La Visión de Syngenta es ofrecer mejores alimentos para un mundo mejor mediante soluciones para los cultivos.

Nuestra Visión nos guía y nos ayudará a alcanzar nuestra meta; ser el principal proveedor de soluciones innovadoras y marcas para los agricultores y la cadena alimenticia.

La Visión no sólo es filosofía en Syngenta. Es la manera en que creceremos.

1.2.3 Alcance Los desafíos y las oportunidades para la industria agrícola son globales, pero las soluciones se implementan localmente. El alcance global hace que sea posible brindar mejores soluciones locales.

En cada región del mundo, Syngenta es la compañía de ventas y comercialización más grande de la industria agrícola. Contamos con importantes centros de investigación o producción en todas las zonas geográficas clave.

Capitalizamos estas fortalezas globales para proporcionar soluciones adaptadas a las necesidades locales.

1.2.4 Gente Con más de 20.000 colaboradores, incluyendo un equipo de Investigación y Desarrollo constituido por más de 5.000 profesionales, estamos en óptimas condiciones de desarrollar soluciones innovadoras para la protección de cultivos y semillas, en pro de una agricultura sostenible mundial.

La calidad de nuestro personal es la clave de nuestro éxito futuro. Una clara toma de decisiones, autonomía local y recompensas por desempeño, ayudarán a Syngenta a continuar captando lo mejor de la industria, y a motivar a nuestros colaboradores.

2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En Colombia la industria dedicada a la producción de semillas está viendo la necesidad de tomar datos experimentales sobre qué tipo de discos son los más adecuados para utilizar en los diferentes tipos de máquinas sembradoras para garantizar una buena distribución de semillas durante la siembra y para que la empresa productora de semillas pueda tomar decisiones acerca de los calibres de semilla a la hora de clasificarlas.

Esto con el fin de que el agricultor no se vea obligado a dedicar parte de su tiempo a la calibración de su máquina sembradora, además esta calibración muchas veces realizada por el operario no es siempre la más precisa, causando problemas en la plantabilidad del cultivo y desperdicios de semilla.

2.2 OBJETIVOS

2.2.1 Objetivo General Aplicar estrategias de diseño concurrente para realizar un eficiente diseño de una máquina para situación de plantabilidad de maíz.

2.2.2 Objetivos específicos

- Establecer las necesidades específicas que requiere la empresa.
- Analizar productos competidores y generar ideas para el desarrollo de un mejor producto.
- Generar, seleccionar y probar diferentes conceptos que resuelvan las especificaciones establecidas previamente teniendo en cuenta diferentes

criterios técnico-económicos y evaluando su impacto social y medio ambiental.

- Realizar un diseño detallado del producto.

2.3 JUSTIFICACIÓN

En un estudio realizado durante el periodo académico de Julio - Diciembre de 2003, sobre prospectiva en Electrónica, Telecomunicaciones e Informática, en el cual se consultaron varios planes regionales y nacionales, se pudo apreciar que uno de los más importantes problemas que aqueja a la región del pacífico colombiano es el de la automatización de procesos agropecuarios.

La justificación de este proyecto puede tener varios puntos de vista, el primero surge dada la gran necesidad de realizar pruebas de laboratorio por parte de las empresas productoras de semillas, para garantizarle a los agricultores que estos puedan realizar una adecuada calibración de sus máquinas sembradoras.

Por otro lado, los datos tomados en estas pruebas servirán a la empresa productora de semillas para tomar decisiones acerca de los diferentes calibres de semilla a la hora de hacer las clasificaciones.

Otro sector que indirectamente se puede ver beneficiado por este proyecto es el de los distribuidores de maquinaria agrícola ya que al realizar las pruebas los agricultores podrán darse cuenta de la eficiencia de las sembradoras.

3. MARCO TEÓRICO

Para la realización de este proyecto es necesario comprender el funcionamiento de los diferentes tipos máquinas sembradoras.

Básicamente la operación de siembra de estas máquinas consiste en un mecanismo distribuidor de semilla, concebidos para que suelten las semillas individualmente, una tras otra, con intervalos regulares. Existen distribuidores mecánicos y neumáticos.

Estos mecanismos son accionados por una llanta que gira libremente sobre el terreno, luego la semilla cae entre dos discos que abren el surco y una rueda posterior tapa este surco quedando de esta manera la semilla incorporada en el lote.

Figura 1. Descripción del funcionamiento de máquinas sembradoras

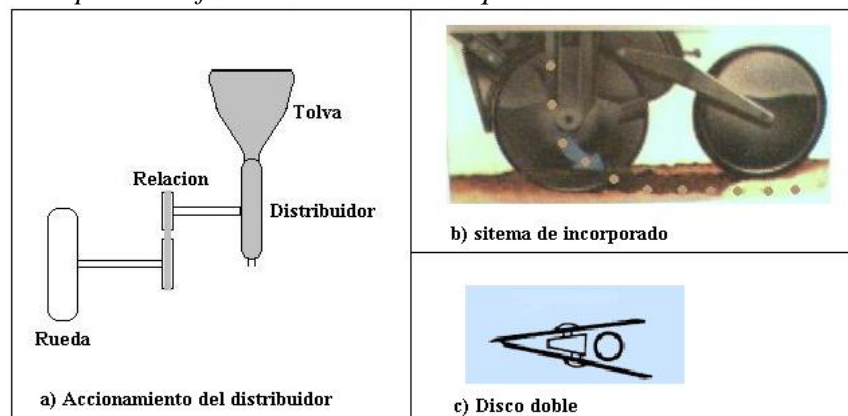


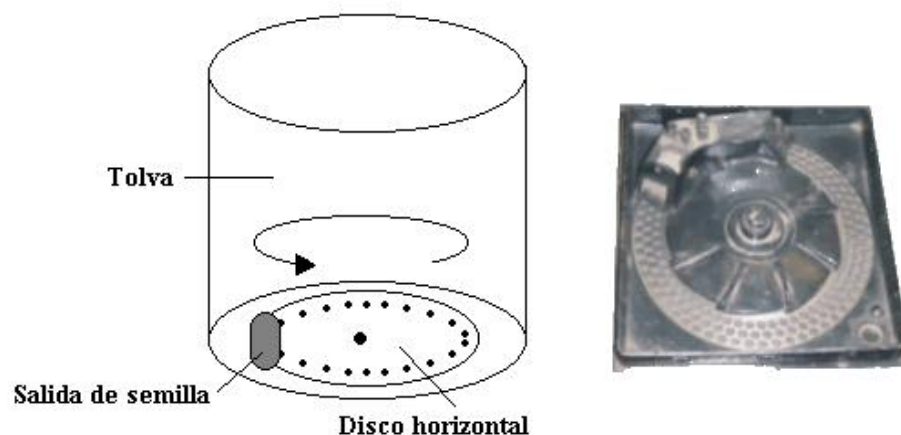
Figura 2. Tipos de máquinas sembradoras



3.1 DISTRIBUIDOR MECÁNICO DE PLACA HORIZONTAL

Consiste en un disco perforado que gira en el fondo de una tolva de almacenamiento de semilla, cada agujero es ocupado por una semilla que es soltada al terreno al llegar a un sector abierto del fondo de la tolva, luego ese agujero es ocupado por otro grano.

Figura 3. Sistema de distribución mecánico de placa horizontal



3.2 DISTRIBUIDOR MECÁNICO DE PLACA VERTICAL CON DEDOS

Los dedos se abren y se cierran por medio de un sistema de resortes cargando cada semilla, estos dedos giran en el sentido de las manecillas del reloj a lo largo del perímetro del disco. Cada semilla se deposita en una banda transportadora tipo elevador que las deposita en el tubo que finalmente va a el surco.

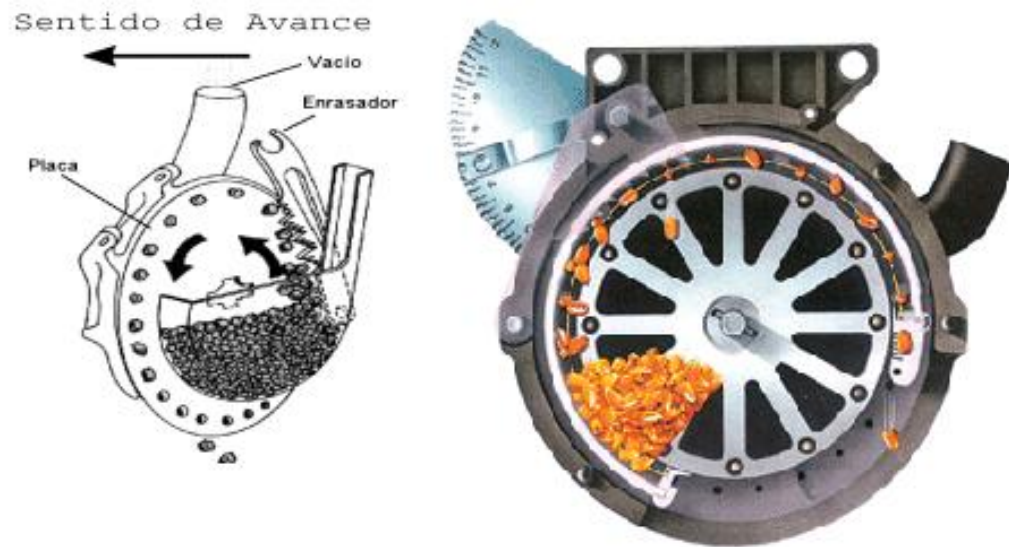
Figura 4. Sistema de distribución mecánico de placa vertical con dedos



3.3 DISTRIBUIDORES NEUMÁTICOS

Esta contiene el disco perforado de forma vertical, en este caso la semilla se mantiene en el agujero por acción del vacío y se suelta en el punto exacto para que caiga en el tubo de salida.

Figura 5. Sistema de distribución neumático



Conociendo los mecanismos mencionados anteriormente se puede proceder al diseño de una máquina estacionaria que accione los diferentes distribuidores para poder realizar la simulación de la siembra.

Esta máquina consta básicamente de cuatro partes:

Fuente de movimiento rotatorio: esta será acoplada a los diferentes distribuidores para dar el movimiento a los discos ya sean verticales u horizontales.

Fuente de vacío: será la encargada de generar el vacío para la simulación de las sembradoras de tipo neumático.

Sensado y procesamiento de información: es la parte encargada de tomar los datos y procesarlos para entregar la información requerida.

Distribuidores de semilla: en la tabla mostrada a continuación se pueden observar las marcas y tipos de sembradoras que se probarán en la máquina para simulación de plantabilidad. Estos mecanismos serán fáciles de acoplar a la simuladora.

Tabla 1. Tipos de máquina que se requiere simular

Compatibilidad con diferentes tipos de sembradoras)	Neumática	Mecánica
Jhon Deere		
Gaspardo		
Case		
Baldan		
Jumil		
MF		
Apolo		

4.METODOLOGÍA

El proyecto se llevará a cabo en 6 meses, comenzando a mediados del mes de Septiembre de 2005 y terminando a mediados del mes de Febrero de 2006. el proyecto está dividido básicamente en dos etapas.

La primera etapa tiene que ver con la base teórica necesaria para el desarrollo del trabajo, con el objetivo de conceptuar el problema. Estudiando de esta manera las necesidades exigidas por el cliente, el funcionamiento de algunos productos similares. Para luego generar una serie de conceptos que serán probados llegando así a la selección del mejor concepto.

La segunda etapa tiene que ver con el diseño, donde se llevara a cabo un diseño detallado de todas las partes de la máquina para obtener de esta forma el diseño completo del producto deseado.

5. DESARROLLO DEL PROYECTO

5.1 INTRODUCCIÓN AL MÉTODO DE DISEÑO

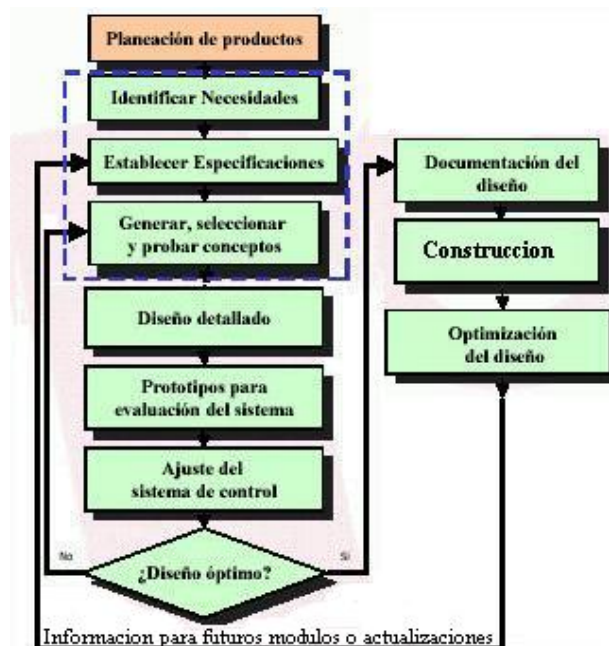
La planeación de un proyecto es una parte de gran importancia a la hora de llevar a cabo un proceso de diseño puesto que por medio de ella podemos identificar con claridad las necesidades del cliente, estas necesidades son claves en este tipo de procesos ya que gracias a ellas se puede diseñar de acuerdo con los requerimientos funcionales, estéticos y restricciones que el interesado en el producto demande.

Este proceso permite evaluar la satisfacción de las necesidades del cliente en algunos productos competidores lo cual nos permite realizar mejoras en el producto que se va a diseñar respecto a los diseñados con anterioridad.

Con el análisis mencionado anteriormente se puede restringir el diseño dándole a este unas especificaciones preliminares las cuales nos permitirán generar una serie de conceptos, de los que se seleccionaran los que mejor se adapten al resultado esperado.

Por último se realiza una prueba usando herramientas computacionales o prototipos rápidos de cada uno de los conceptos seleccionados lo que nos dará la aprobación para llevar a cabo un diseño detallado con la plena seguridad de que este será exitoso.

Figura 6. Propuesta de ciclo de desarrollo



5.2 PLANTEAMIENTO DE LA MISIÓN

Descripción del Producto:

- Máquina estacionaria para simular la plantabilidad de las máquinas sembradoras de maíz.

Principales Objetivos de Marketing:

- Probar que los diferentes calibres de semillas producidos en la planta coincidan con los diferentes tipos de máquinas sembradoras existentes en el mercado colombiano y venezolano.
- Asesorar a los agricultores a la hora de realizar la siembra.
- Desarrollar un sistema simple y funcional.

Mercado Primario:

- Empresas productoras de semillas.

Mercado Secundario:

- Distribuidores de maquinaria agrícola.
- Agricultores.

Premisas y Restricciones:

- El tamaño y peso del dispositivo debe ser el adecuado para un equipo de este tipo.
- Se trabajará en lugares donde sólo se cuenta con instalaciones eléctricas monofásicas de 110 voltios
- Facilidad de mantenimiento y reparación.
- Buena estética (diseño industrial).

Partes Implicadas:

- Planta de producción.
- Departamento control de calidad.
- Personal de ventas.
- Distribuidores de maquinaria agrícola
- Proveedores de partes y elementos

5.3 IDENTIFICACIÓN DE LAS NECESIDADES DEL CLIENTE

La identificación de las necesidades del cliente es parte fundamental en el desarrollo del planteamiento de la misión.

Por esta razón se organizó una lista de necesidades donde se destacan tres grandes grupos; necesidades funcionales, necesidades estructurales y necesidades estéticas, luego se le dió un nivel de importancia a cada una de estas necesidades.

Por último la tabla muestra la identificación de las necesidades donde se traduce cada necesidad a un lenguaje técnico para luego poder analizarlas detalladamente.

5.3.1 Lista de necesidades del cliente

Necesidades funcionales

- Que la velocidad de siembra sea variable
- Que la máquina funcione con los diferentes mecanismos de sembradoras existentes en el mercado
- Poder medir la distancia entre semilla y semilla
- Se quiere saber cuantas semillas por metro se han sembrado
- Que se puedan ver todos los datos tomados
- En caso de emergencia se pueda detener la máquina sin que se pierda lo que se ha hecho

Necesidades estructurales

- Se quiere que la máquina se pueda transportar en avión
- Que se puedan hacer rediseños sobre su misma plataforma
- Facilidad para acoplar los mecanismos de las diferentes sembradoras
- Facilidad para armar y desarmar.

Necesidades estéticas y económicas

- Que tenga buena presentación
- Que el presupuesto para la construcción de la máquina sea viable para la empresa
- Se requiere que la máquina tenga un consumo de corriente razonable

Tabla 2. Identificación de las necesidades del cliente

Planteamiento del cliente	Identificación de las necesidades
Necesidades funcionales	
Que la velocidad de siembra sea variable	La velocidad de siembra se podrá variar desde la consola de mando
Que la máquina funcione con los diferentes mecanismos de sembradoras existentes en el mercado Colombiano y Venezolano	La máquina será compatible con los diferentes tipos de máquinas sembradoras existentes en el mercado Colombiano y Venezolano
Poder medir la distancia entre semilla y semilla	El dispositivo podrá medir la distancia entre granos sembrados
Se quiere saber cuantas semillas por metro se han sembrado	El dispositivo podrá medir la densidad de siembra
Que se puedan ver todos los datos tomados	El dispositivo contara con un medio de visualización para observar las variables medidas
En caso de emergencia se pueda detener la máquina sin que se pierda lo que se ha hecho	En caso de emergencia será posible detener la máquina sin perder la información recopilada, al terminar la emergencia se podrá reiniciar el proceso desde donde se había detenido
Necesidades estructurales	
Se quiere que la máquina se pueda transportar en avión	La máquina estará dividida en módulos
	La máquina contara con el peso adecuado para este tipo de dispositivos
	La máquina tendrá un peso adecuado para las máquinas de este tipo
	El dispositivo se podrá transportar fácilmente dentro de las diferentes instalaciones (empresa, aeropuertos, días de campo)
Que se puedan hacer rediseños sobre su misma plataforma	La plataforma del dispositivo será independiente de los demás mecanismos.
Facilidad para acoplar los mecanismos de las diferentes sembradoras	El dispositivo contará con un acople rápido para los mecanismos de distribución de semilla de las diferentes máquinas sembradoras
	La máquina contará con su propia fuente de vacío para la simulación de sembradoras neumáticas
	La máquina contará con una fuente de movimiento rotatorio para la simulación de todas las sembradoras
Facilidad para armar y desarmar	Los módulos se podrán ensamblar y desmontar fácilmente en poco tiempo

5.3.2 Especificaciones del producto Las especificaciones del producto describen lo que debe hacer el producto sin decir cómo. Este proceso consiste en dar medidas o valores a las traducciones medibles de las necesidades.

En las dos tablas mostradas a continuación se establecen las métricas con sus unidades y se relaciona cada una de ellas con las necesidades de la tabla anterior.

Tabla 3. Declaración de las métricas con sus unidades

Metric #	Needs #	METRIC	Imp.	Units
1	2,8,9	Dimensiones	4	cm.
2	1,3,4,6,7,12	Visualización de variables	5	I/O
3	1,3,4,6,12	Medición de variables	5	Lista 1
4	1,2,3,4,6	Procesamiento de información	5	I/O
5	1,2	Variación de la velocidad de siembra	5	Km/h
6	2,1,6	Potencia de la fuente de movimiento rotatorio	3	HP
7	1,2,13	Velocidad de la fuente de movimiento rotatorio	2	RPM
8	2,14	Vacío generado por la fuente de vacío	4	bares
9	14	Diseño atractivo	3	Subj.
10	7,9,10	Módulos removibles	3	Unid.
11	1,2,11,12,13	Compatibilidad con diferentes tipos de sembradoras	5	Lista 2
12	6	Paro de emergencia	3	I/O
13	8,9	Peso de la máquina	3	Kg.
14	7	Tiempo de ensamble y desensamble de módulos	2	Min.
15	16	Consumo de corriente	2	Amp.
16	15	Costo total	4	Pesos

Lista 1 (Medición de variables)		Units.
Velocidad de siembra		Km/h
Densidad de siembra		Granos /m
Distancia entre granos sembrados		Mts
Peso de semillas sembradas por hectárea		Kg.
Lista 2 (Compatibilidad con diferentes tipos de sembradoras)		
	Neumática	Mecánica
Jhon Deere		
Gaspardo		
Case		
Baldan		
Jumil		
MF		
Jumil		
Apolo		

Tabla 4. Relación de las métricas con las necesidades

Relación de las métricas con las necesidades		#	Métrica															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
#	Necesidad	imp.	Dimensiones	Visualización de variables	Medición de variables	Procesamiento de información	Variación de la velocidad de siembra	Potencia de la fuente de movimiento rotatorio	Velocidad de la fuente de movimiento rotatorio	Vacío generado por la fuente de vacío	Diseño atractivo	Módulos removibles	Compatibilidad con diferentes tipos de sembradoras	Paro de emergencia	Peso de la máquina	Tiempo de ensamble y desensamble de módulos	Consumo de corriente	Costo total
1	La velocidad de siembra se podrá variar desde la consola de mando	5		3	9	3	9		5				3					
2	La máquina será compatible con los diferentes tipos de máquinas sembradoras existentes en el mercado Colombiano y Venezolano	5	5			5	5	3	3	3			9					
3	El dispositivo podrá medir la distancia entre granos sembrados	3		3	9	9												
4	El dispositivo podrá medir la densidad de siembra	5		3	9	9												
5	El dispositivo contará con un medio de visualización para observar las variables medidas	4		9														
6	En caso de emergencia será posible detener la máquina sin perder la información recopilada, al terminar la emergencia se podrá reiniciar el proceso desde donde se había detenido	3				5								9				
7	La máquina estará dividida en módulos	4										9				9		

8	La máquina contará con el peso adecuado para este tipo de dispositivos	4	5										9				
9	El dispositivo se podrá transportar fácilmente dentro de las diferentes instalaciones (empresa, aeropuertos, días de campo)	3	9										5				
10	La plataforma del dispositivo será independiente de los demás mecanismos	3															
11	El dispositivo contará con un acople rápido para los mecanismos de distribución de semilla de las diferentes máquinas sembradoras	5									9						
12	La máquina contará con su propia fuente de vacío para la simulación de sembradoras neumáticas	5		3	5				9		5						
13	La máquina contará con una fuente de movimiento rotatorio para la simulación de todas las sembradoras	5					9	9	9		5						
14	Los módulos se podrán ensamblar y desmontar fácilmente en poco tiempo	3															
15	Su diseño será atractivo	3								9							
16	La máquina tendrá un costo adecuado para las máquinas de este tipo	4														9	
17	La máquina tendrá un consumo de corriente adecuado para las máquinas de este tipo	3													9		
TOTAL			72	99	169	154	115	60	85	60	27	155	27	51	36	27	36

5.3.3 Benchmarking En este estudio se analiza detalladamente la satisfacción de las necesidades del cliente en productos competidores otorgando una calificación de 1 a 5, esto con la finalidad de diseñar un producto que cumpla con todas las necesidades del cliente y llene los espacios que la competencia ha dejado.

5.3.3.1 Máquina de simulación de plantabilidad Argentina La máquina de construcción Argentina fue elaborada por la empresa Gorriz Electromecánica S.A. para la empresa de producción de semillas Syngenta S.A. de Argentina, la cual tiene el propósito de realizar pruebas de laboratorio a las semillas producidas por dicha empresa, pero debido al tipo de máquina sembradora utilizada en Argentina (máquina mecánica utilizada en cultivos de grandes extensiones, cero labranza) ésta no es una máquina de simulación que se pueda utilizar en nuestro país, puesto que no se adapta a algunas sembradoras, como lo son las máquinas neumáticas de precisión utilizadas en nuestro medio.

Figura 7. Máquina de simulación de plantabilidad Argentina



5.3.3.2 Máquina de simulación de plantabilidad Brasileira Esta máquina es utilizada por los distribuidores de sembradoras JUMIL, y está diseñada para demostrar el funcionamiento de las máquinas sembradoras, por esta razón no es la más adecuada para realizar ensayos de plantabilidad, ya que no esta dotada con instrumentos de visualización y sensado que garanticen una correcta medición a la hora de tomar los datos.

Tabla 5. Benchmarking

BENCHMARKING				Argentina	Brasileira
#	Necesidad		Imp.		
1	Funcional	La velocidad de siembra se podrá variar desde la consola de mando	5	5	n/a
2	Funcional	La máquina será compatible con los diferentes tipos de máquinas sembradoras existentes en el mercado Colombiano y Venezolano	5	1	1
3	Funcional	El dispositivo podrá medir la distancia entre granos sembrados	3	2	3
4	Funcional	El dispositivo podrá medir la densidad de siembra	5	5	3
5	Funcional	El dispositivo contará con un medio de visualización para observar las variables medidas	4	4	n/a
6	Funcional	En caso de emergencia será posible detener la máquina sin perder la información recopilada, al terminar la emergencia se podrá reiniciar el proceso desde donde se había detenido	3	5	3
7	Estructural	La máquina estará dividida en módulos	4	2	1
8	Estructural	La máquina contará con el peso adecuado para este tipo de dispositivos	4	4	1
9	Estructural	El dispositivo se podrá transportar fácilmente dentro de las diferentes instalaciones (empresa, aeropuertos, días de campo)	4	3	1
10	Estructural	La plataforma del dispositivo será independiente de los demás mecanismos	3	4	2
11	Estructural	El dispositivo contará con un acople rápido para los mecanismos de distribución de semilla de las diferentes máquinas sembradoras	5	2	1
12	Estructural	La máquina contará con su propia fuente de vacío para la simulación de sembradoras neumáticas	5	n/a	4
13	Estructural	La máquina contará con una fuente de movimiento rotatorio para la simulación de todas las sembradoras	5	5	5

14	Estructural	Los módulos se podrán ensamblar y desmontar fácilmente en poco tiempo	3	2	1
15	Estético	Su diseño será atractivo	3	4	3
16	Económico	La máquina tendrá un costo adecuado para las máquinas de este tipo	4	4	4
17	Económico	La máquina tendrá un consumo de corriente adecuado para las máquinas de este tipo	3	5	2

Nota: "n/a" significa no cumple con la necesidad.

5.3.4 Especificaciones preliminares del dispositivo

Tabla 6. Especificaciones preliminares

Metric #	METRIC	Imp.	Units	Valor marginal	Valor ideal
1	Dimensiones	4	cm.	60-70-80	40-65-75
2	Visualización de variables	5	I/O	I	I
3	Medición de variables	5	Lista 1		
4	Procesamiento de información	5	I/O	I	I
5	Variación de la velocidad de siembra	5	Km/h	0-10	0-15
6	Potencia de la fuente de movimiento rotatorio	3	HP	1/3-1	1/4
7	Velocidad de la fuente de movimiento rotatorio	2	RPM	1000-3000	1700
8	Vacío generado por la fuente de vacío	4	mbares	0-(-100)	0-(-150)
9	Diseño atractivo	3	Subj.	aceptable	bueno
10	Módulos removibles	3	Unid.	<15	<10
11	Compatibilidad con diferentes tipos de sembradoras	5	Lista 2		
12	Paro de emergencia	3	I/O	0	I
13	Peso de la máquina	3	Kg.	240	150
14	Tiempo de ensamble y desensamble de módulos	2	Min.	<20	<15
15	Consumo de corriente	2	Amp.	<15	<8
16	Costo total	4	Pesos	<18'	<10'

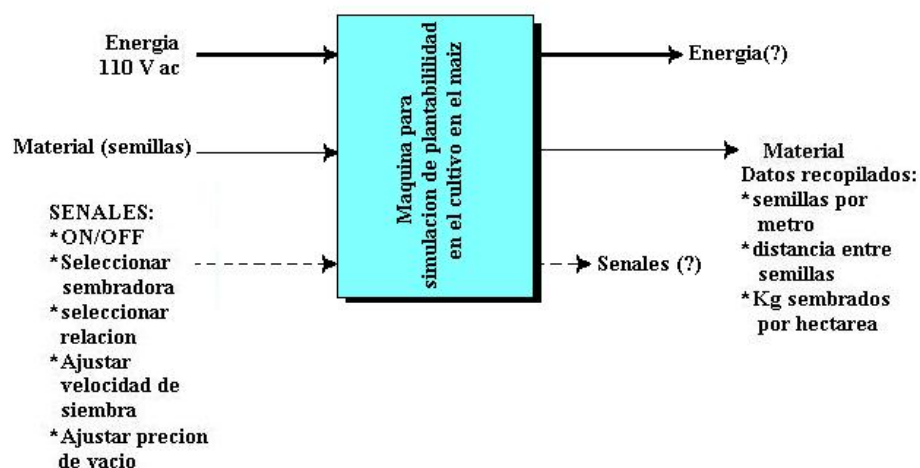
5.4 GENERACIÓN, SELECCIÓN Y PRUEBA DE CONCEPTOS

Una visión clara del diseñador acerca de las necesidades primordiales del cliente a suplir es clave, para de esta manera dividir el gran conjunto de necesidades (problema), en subproblemas que facilitarán la generación de soluciones que se combinarán entre si, las cuales darán diversas opciones de solución desde diferentes enfoques de diseño.

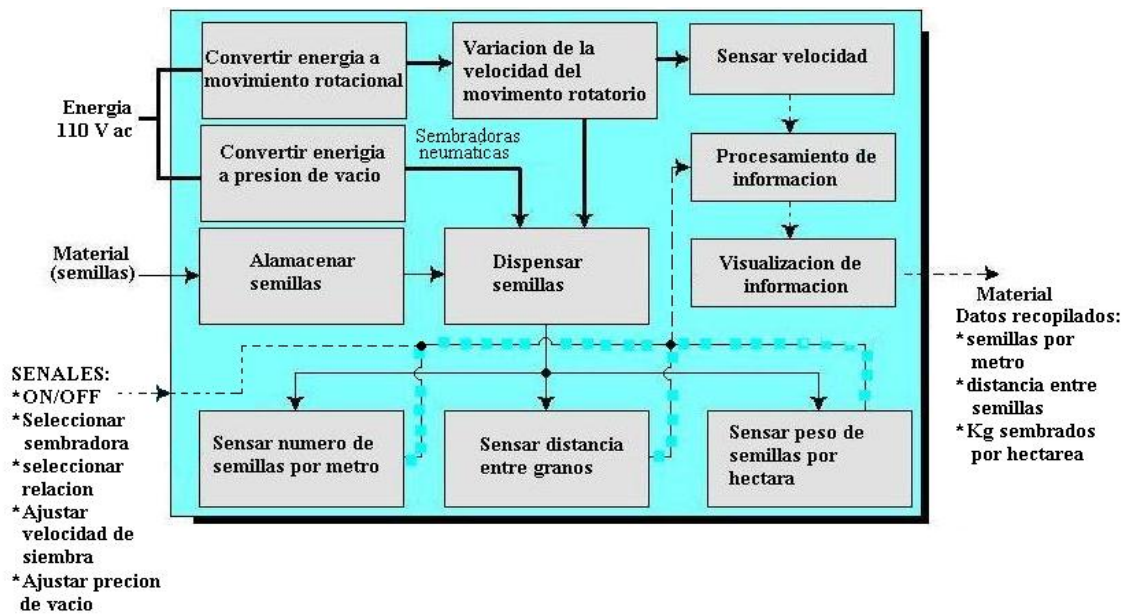
De la gran variedad de combinaciones se encontrará que no todas las opciones son viables y/o confiables, pero se trata de analizar los pro y contra de cada una, eligiendo finalmente una combinación que vaya de la mano con las necesidades del cliente y la experiencia del diseñador. Esta combinación o concepto seleccionado responde a todos los esfuerzos de diseño realizados con anterioridad y a las ambiciones del grupo de trabajo, dando lugar al desarrollo de un producto competitivo, evidenciando la real importancia del aprovechamiento del proceso estructurado de diseño y desarrollo de productos.

5.4.1 Generación de conceptos

Figura 8. Caja negra



Fcra 9. descomposición funcional



5.4.1.1 Conceptos generados por subfunciones

Convertir energía a movimiento rotacional

- Motor eléctrico DC
- Motor eléctrico AC
- Motorreductor eléctrico AC
- Motor de combustión interna
- Motor hidráulico

Convertir energía a presión de vacío

- Bomba seca por paletas
- Bomba tipo root
- Bomba tipo turbina

Almacenar semillas

- Tolva universal
- Tolvas de las diferentes máquinas sembradoras

Dispensar semillas

- Unidad dispensadora de las diferentes máquinas sembradoras
- Unidad universal que se acople a los discos de las diferentes sembradoras

Sensar numero de semillas por metro

- Sensor inductivo
- Sensor capacitivo
- Sensor óptico

Sensar distancia entre granos

- Sensor inductivo
- Sensor capacitivo
- Sensor óptico

Sensar peso de semillas por hectárea

- Celda de carga
- Balanza digital
- Dinamómetro
- Galga extensiométrica

Sensar velocidad

- Sensor inductivo
- Sensor capacitivo
- Sensor óptico
- Encoder incremental

Variación de la velocidad del movimiento rotatorio

- Caja de relación variable (mecánica)
- Variador de velocidad (electrónico)

- Variador de velocidad y relación fija (electromecánico)

Procesamiento de información

- Plc
- Microcontrolador
- PC
- Compuertas lógicas

Visualización de información

- Lcd
- Display 7 segmentos
- Pc
- Touch panel
- Vacuómetro

Figura 10.Combinación de conceptos

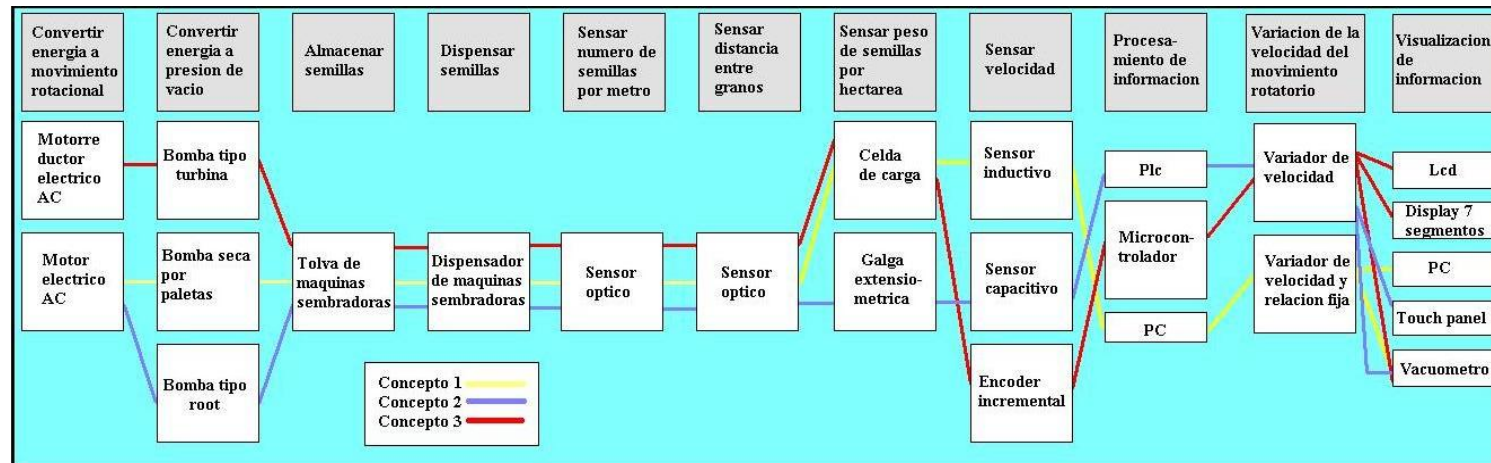


Figura 11. Concepto 1

Figura 11. Concepto 1

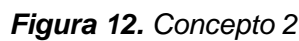
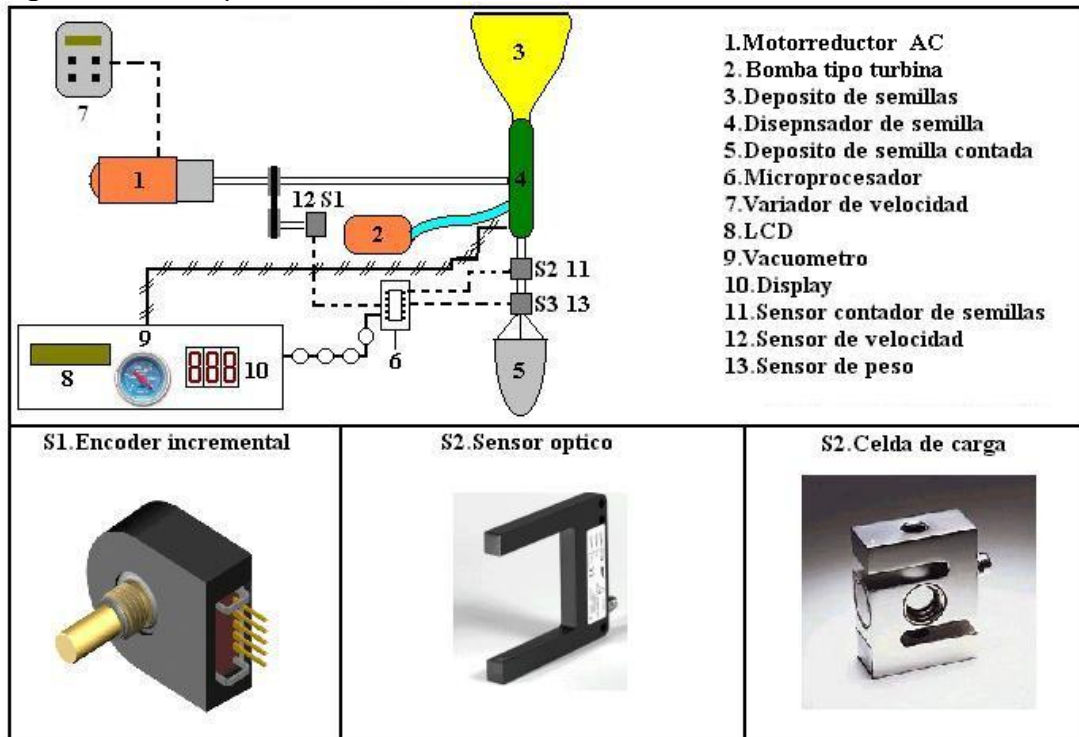


Figura 12. Concepto 2



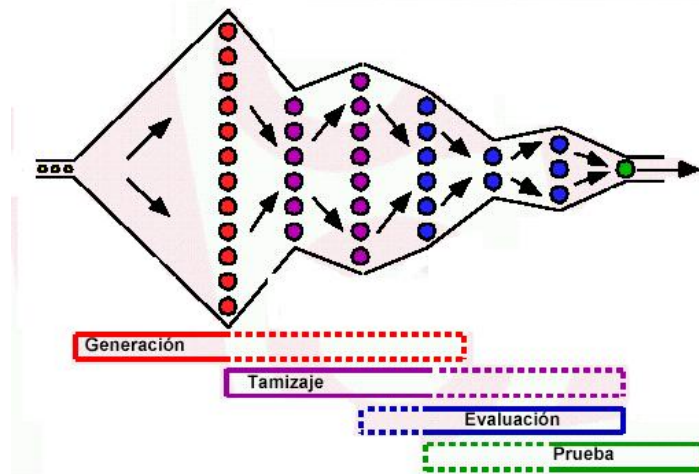
Figura 13. Concepto 3



5.4.2 Selección de conceptos Para la selección de este concepto se utilizaron criterios relativos de evaluación donde se selecciona un producto existente como referencia y se valoran los conceptos de forma conjunta.

Este es un método estructurado basado en las necesidades ponderadas del consumidor que consta de dos partes; una matriz de tamizaje donde se filtran algunos conceptos y una matriz de evaluación donde se elige el concepto que se va a desarrollar.

Figura 14. Embudo de la selección de conceptos



Como referencia se tomo la máquina Argentina elaborada por la empresa Gorriz Electromecánica S.A. para la empresa de producción de semillas Syngenta S.A. de Argentina, la cual tiene el propósito de realizar pruebas de laboratorio a las semillas producidas por dicha empresa.

+ : Mejor que...

0 : Igual a...

- : Peor que...

Tabla 7. Matriz de tamizaje

Criterios de selección	1	2	3	Ref.
Velocidad de siembra variable	0	-	0	0
Compatibilidad con diferentes tipos de máquinas	+	+	+	0
Visualización de variables	+	+	+	0
Medición de variables	+	+	+	0
Peso de la máquina	0	0	+	0
Facilidad de uso	0	+	0	0
Costo total	0	0	+	0
Facilidad para transportar	0	+	+	0
Positivos	3	5	6	
Iguales	5	2	2	
Negativos	0	1	0	
TOTAL	3	4	6	
¿Continuar?	no	si	si	

1 : Mucho peor que...

2 : Peor que...

3 : Igual a

4 : Mejor que...

5 : Mucho mejor que...

Tabla 8. Matriz de evaluación de conceptos

Criterios de selección	Ponderación %	2		3		Ref.	
Velocidad de siembra variable	15	5	0.75	5	0.75	5	0.75
Compatibilidad con diferentes tipos de máquinas	15	5	0.75	5	0.75	1	0.15
Visualización de variables	15	5	0.75	5	0.75	4	0.6
Medición de variables	20	5	1	4	0.8	4	0.8
Peso de la máquina	5	4	0.2	5	0.25	4	0.2
Facilidad de uso	10	4	0.4	4	0.4	4	0.4
Costo total	10	2	0.2	5	0.5	2	0.2
Facilidad para transportar	10	4	0.4	4	0.4	3	0.3
TOTAL		4.45		4.6		3.4	
¿Desarrollar?		no		si			

5.4.3 Prueba de conceptos La prueba de este concepto se realizó por medio de criterios pasa / no pasa, donde se tomo cada una de las subfunciones y se hizo una investigación para comprobar la viabilidad del concepto seleccionado.

Convertir energía a movimiento rotacional

El concepto seleccionado para esta subfunción fue un motorreductor AC.

Después de realizar algunos cálculos se llegó a la conclusión que la velocidad que se necesita en el motor para alcanzar una velocidad máxima de siembra de 15 Km/h es de 240 RPM.

Con un motor monofásico de 110 Vac, 4 polos y 1800 RPM acoplado a un reductor sin fin corona con una relación 7.5:1 se obtiene la velocidad deseada.

El motorreductor con las características mencionadas se logro cotizar en Motorreductores LTDA.

Convertir energía a presión de vacío

Para esta subfunción se eligió el concepto de bomba de vacío tipo turbina, este tipo de bombas generan el vacío utilizando el principio de las turbinas y son utilizadas en aspiradoras caseras e industriales.

Las máquinas sembradoras de tipo neumático presentan un adecuado funcionamiento cuando el vacío generado por la bomba se sitúa entre 50 y 70 mbares, por esta razón se determinó que el vacío mínimo necesario para el buen funcionamiento del dispositivo para simulación de plantabilidad debe alcanzar los 100 mbares.

Para verificar la viabilidad de este concepto se hicieron pruebas empíricas a una aspiradora casera General Electric, la cual funciona por medio de una bomba tipo turbina, para esta prueba se instalo un vacuómetro al electrodoméstico,

alcanzando un vacío de 120 mbares, dando así por concluida la prueba y demostrando el buen desempeño de estos dispositivos en este tipo de aplicación.

Almacenar semillas

El concepto seleccionado para esta subfunción es la propia tolva de la máquina sembradora que se vaya a simular.

Dispensar semillas

Para este caso se optó por seleccionar las unidades dispensadoras de las diferentes máquinas sembradoras las cuales se acoplarán fácilmente a la máquina de simulación, y el movimiento que estas requieren será proporcionado de forma directa por el motorreductor mencionado anteriormente.

Sensar número de semillas por metro

El concepto seleccionado para esta subfunción fue un sensor óptico.

En este caso se necesita sensar y contar cada semilla que sea dispensada por la unidad distribuidora de la máquina que se este simulando, luego de algunos cálculos se definieron los criterios de selección para este sensor:

<i>Frecuencia:</i>	2Hz
<i>Tamaño del grano a sensar:</i>	Se toma como si cada semilla fuera un esfera y el diámetro mínimo es de 2mm
<i>Voltaje de suministro:</i>	12 VDC
<i>Tipo de señal:</i>	Digital

Para dar solución a este problema se identificó el sensor **DI-SORIC OGWSD 25** que cumple con todos los criterios definidos anteriormente, sus aplicaciones son ilustradas en la siguiente gráfica.

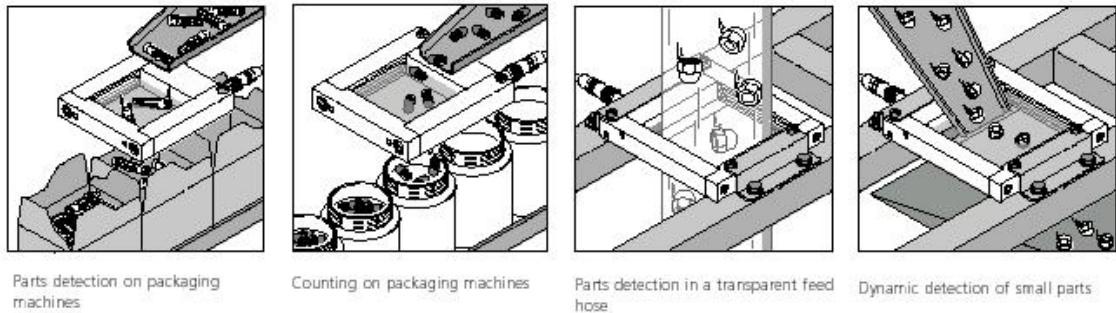


Figura 15. Aplicaciones del sensor óptico de ventana

Sensar distancia entre granos

El concepto seleccionado para esta subfunción es el mismo seleccionado para la subfunción anterior, razón por la cual se pueden utilizar los mismos criterios de selección. Se utilizará un solo sensor para la medición de las dos variables.

Sensar peso de semillas por hectárea

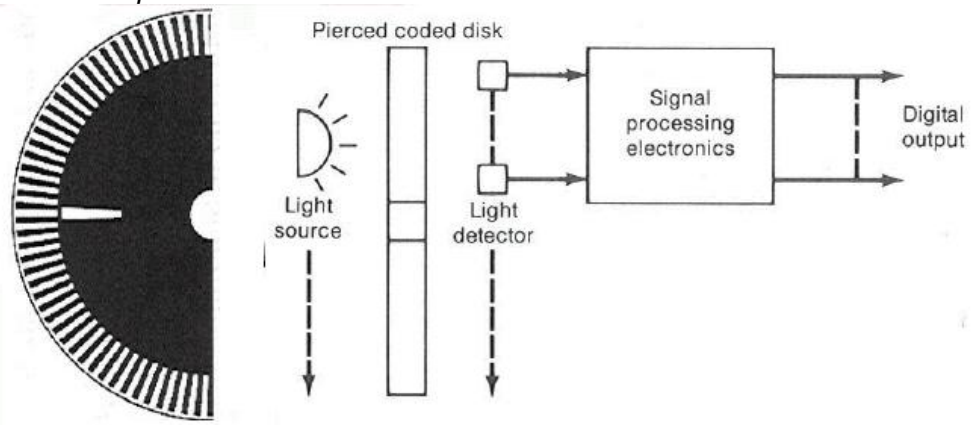
Las celdas de carga que se han logrado identificar en el mercado presentan una escala mínima de 0 a 100 Kg, por esta razón son exageradamente sobredimensionadas no siendo estas las más adecuadas para este tipo de aplicación donde la necesidad máxima es de 5 Kg.

Para dar solución a este problema se sito una reunión en la empresa donde se expuso toda la prueba de conceptos y se busco solución este problema, los resultados de dicha reunión se pueden observar a final de la prueba de todos los conceptos.

Sensar velocidad

En este caso se seleccionó un encoder incremental, este tipo de sensor consta de un disco con perforaciones a lo largo de su perímetro, gira en conjunto con el eje al que se desea tomar la velocidad, y de un sensor que capta el paso de cada agujero.

Figura 16. Descripción del encoder



Utilizando un encoder de 60 pulsos por revolución es muy fácil calcular las RPM, ya que el número de pulsos que se cuentan en un segundo es igual a la velocidad del eje en RPM, por último esta información es procesada para dar al usuario la velocidad de siembra en Km/h.

Variación de la velocidad del movimiento rotatorio

En este caso se optó por variar la velocidad electrónicamente, este método consiste en variar la frecuencia de alimentación del motor, de esta manera la velocidad se ve afectada como se puede demostrar matemáticamente en la siguiente fórmula:


Esta velocidad está dada por la fórmula: $N_s = 60 \times f/p$

Donde:

- N_s = Velocidad del motor en revoluciones por minuto (RPM)
- f = Frecuencia de alimentación en Hertz (Hz)
- p = Número de pares de polos del motor

En el mercado colombiano se logró identificar un variador electrónico que se adapta a las características del tipo de motor seleccionado.

Tabla 9. Características del variador de velocidad Power Flex4

	Power Range	Control Performance	Enclosure Type	Communications
PowerFlex® 4 AC Drive 	0.2 - 1.1 kW, (0.25 - 1.5 HP), 110-120V. 0.2 - 4.0 kW, (0.25 - 5 HP), 200-240V. 0.37 - 4.0 kW, (0.5 - 5 HP), 400-480V.	Volts per Hertz, Slip Compensation	IP 20 / Open, IP 30 / NEMA Type 1	<u>Internal</u> RS 485

Procesamiento de información

Para procesar la información que requiere esta aplicación basta con un microcontrolador, además existe una gran variedad tanto de microcontroladores como de lenguajes de programación, sobre los cuales se desarrollara la parte inteligente de la máquina.

El microcontrolador es económicamente mucho mas favorable que las opciones expuestas en los demás conceptos es por esta razón que fue seleccionado.

Visualización de información

La interfase máquina - hombre se realizará por medio de tres elementos:

LCD: será el encargado de visualizar toda la información requerida y suministrada por el microcontrolador, este tipo de dispositivos son compatibles con cualquier tipo de microcontrolador.

Display 7 segmentos: en este caso se utilizarán 3 displays donde se mostrarán las unidades, las decenas y un decimal de la velocidad de siembra en Km/h.

Vacuómetro: este será el encargado de informar al usuario el vacío generado por la bomba de vacío en el caso de simulación de sembradora neumática.

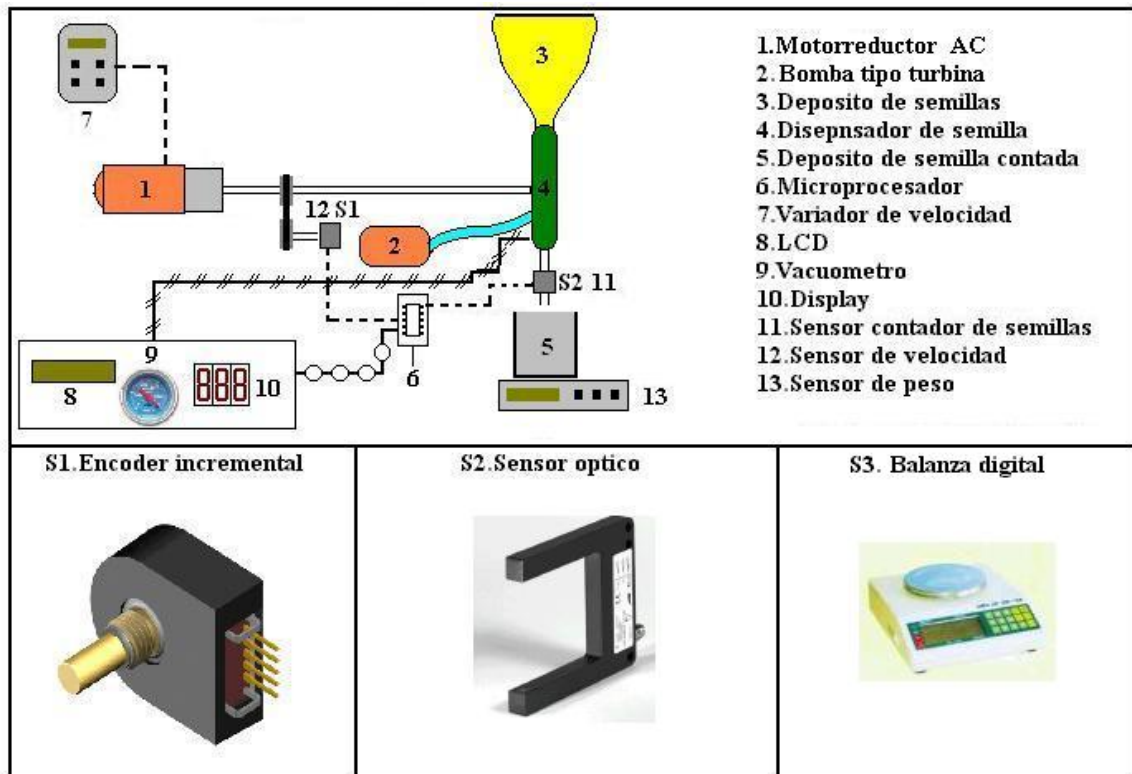
Tabla 9. Matriz de prueba de conceptos

Subfunción	Pasa	No pasa
Convertir energía a movimiento rotacional	X	
Convertir energía a presión de vacío	X	
Almacenar semillas	X	
Dispensar semillas	X	
Sensar número de semillas por metro	X	
Sensar distancia entre granos	X	
Sensar peso de semillas por hectárea		X
Sensar velocidad	X	
Variación de la velocidad del movimiento rotatorio	X	
Procesamiento de información	X	
Visualización de información	X	

Solución a la Subfunción Sensar Peso de Semillas por Hectárea

Este problema fue tratado en una reunión realizada en la empresa, donde se determinó que dicha variable no era de mucha relevancia, razón por la cual se sugirió utilizar una balanza digital, que tendrá la función de calcular el peso promedio de la semilla que se utilice en cada simulación y con este dato calcular el peso de semillas sembradas por hectárea, partiendo del dato arrojado por la máquina de semillas sembradas por metro. En la gráfica mostrada a continuación se puede observar el concepto seleccionado con la reforma mencionada anteriormente.

Figura 17. Concepto final



5.5. ESPECIFICACIONES FINALES DEL PRODUCTO

Como resultado de la segunda etapa del proceso de diseño y desarrollo se obtiene la tabla de especificaciones finales, las cuales son fundamento para llevar a cabo la etapa de diseño detallado.

Estas especificaciones al estar sujetas a un proceso de diseño, pueden variar en el transcurso del mismo, debido a cambios o eventos inesperados.

Tabla 10. Especificaciones técnicas

Métrica #	MÉTRICA	Imp.	Units	Valor
1	Dimensiones (ancho, alto, largo)	4	cm.	50-70-75
2	Visualización de variables	5	I/O	I
3	Medición de variables	5	Lista 1	Ver Tabla 6
4	Procesamiento de información	5	I/O	I
5	Variación de la velocidad de siembra	5	Km/h	0-15
6	Potencia de la fuente de movimiento rotatorio	3	HP	¼
7	Velocidad de la fuente de movimiento rotatorio	2	RPM	1800
8	Vacío generado por la fuente de vacío	4	mb	-120
9	Diseño atractivo	3	Subj.	Bueno
10	Compatibilidad con diferentes tipos de sembradoras	5	Lista 2	Ver Tabla 7
11	Paro de emergencia	3	I/O	I
12	Peso de la máquina	3	Kg.	110
13	Tiempo de ensamble y desensamble de módulos	2	Min.	<20
14	Consumo de corriente	2	Amp.	10
15	Costo total	4	Pesos	\$10'000.000

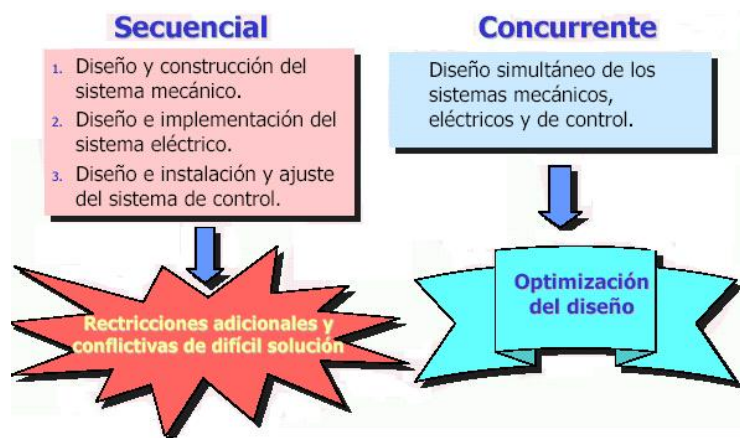
Lista 1. Medición de variables	Units
Velocidad de siembra	Km/h
Densidad de siembra	Grano s/m
Distancia entre granos sembrados	Mts
Peso de semillas sembradas por hectárea	Kg.

Lista 2. Compatibilidad con diferentes tipos de sembradoras	Neumática	Mecánica	Utilizadas
Jhon Deere			x
Gaspardo			x
Case			
Baldan			x
Jumil			
MF			
Apolo			

.6 DISEÑO DETALLADO

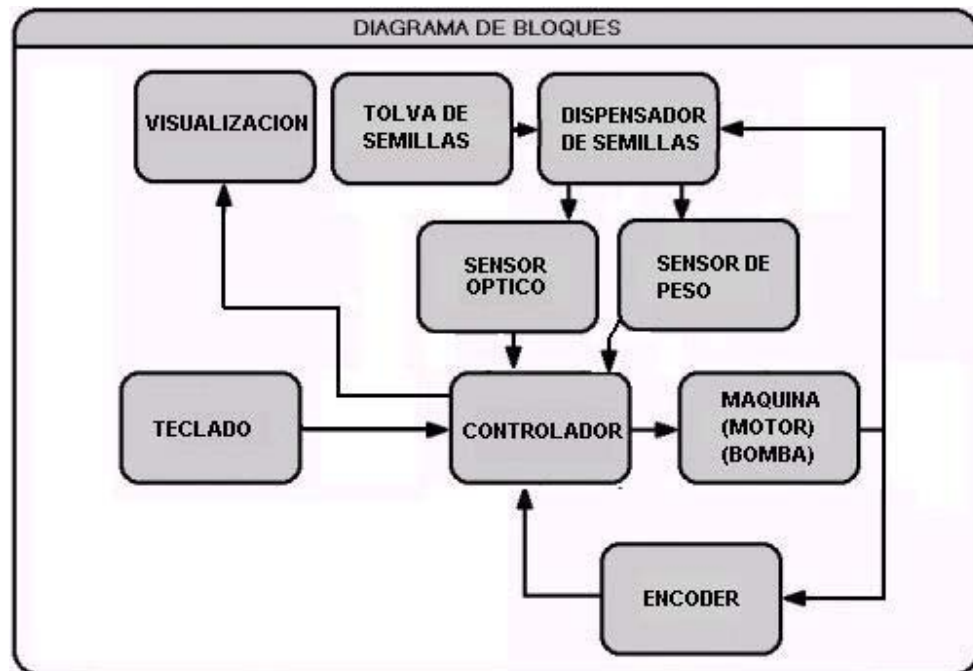
El diseño de la máquina para simulación de plantabilidad se dividió en seis etapas; documentación electrónica, diseño arquitectural, diagramas de flujo, documentación mecánica y selección de la instrumentación y diseño del tablero de mando; las cuales se trabajaran en forma concurrente.

Figura 18. *Diseño secuencial vs. concurrente*



Inicialmente se elaboró un diagrama de bloques del sistema partiendo de las especificaciones técnicas basadas en las necesidades del cliente y del concepto seleccionado.

Figura 19. Diagrama de bloques



5.6.1 Documentación electrónica El sistema es alimentado directamente de la red eléctrica local de 110 V y 60 Hz, de la cual se derivan las conexiones para los diferentes dispositivos.

Esta parte consta de dos etapas:

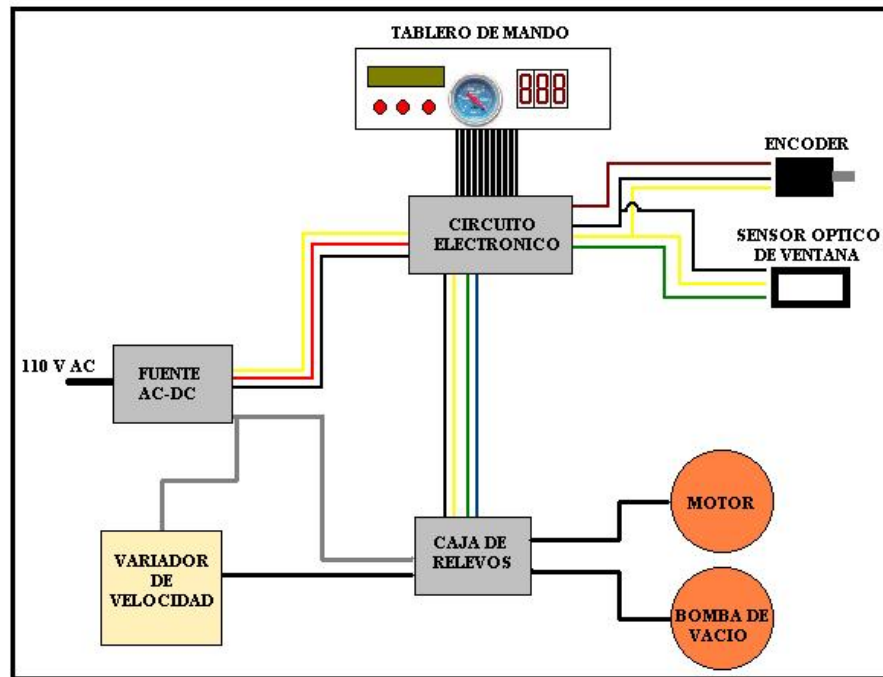
5.6.1.1 Etapa eléctrica (110 Vac) Esta etapa es la encargada del suministro de corriente para los dispositivos que funcionan directamente con 110 Vac y 60 Hz de frecuencia.

Esta etapa cuenta con los siguientes elementos:

- Motorreductor eléctrico ac ¼ hp a 250 RPM
- Variador de velocidad Power Flex 4
- Bomba de vacío de turbina

Mapa de Conexiones Eléctricas

Figura 20. Mapa de conexiones eléctricas.



5.6.1.2 Etapa electrónica (12 y 5 Vdc) Para el suministro de corriente del circuito se utiliza una fuente AC-DC, a la que le entra un voltaje de 110 Vac y entrega voltajes de 12 y 5 Vdc.

El circuito básicamente consta de dos microcontroladores atmel 89c52 de la familia 51, encargados de recibir los datos del usuario y los sensores, procesarlos para posteriormente enviar las señales a los actuadores y entregar los datos solicitados por el usuario.

El circuito electrónico consta de los siguientes elementos:

- 2 microcontroladores atmel 89c52
- 1 modulo de cristal liquido LCD
- 3 display de 7 segmentos ánodo común

- 3 decodificadores 74ls47
- 1 compuerta and 74ls09
- 3 pulsadores NA
- 2 cristales 12 Mhz
- 4 condensadores de 33 pf
- 1 condensador de 33 μ f
- 2 condensadores de 10 μ f
- 1 regulador 7805
- Resistencias
- 1 sensor óptico de ventana
- 1 encoder incremental de 60 pulsos por revolución
- 2 relevos de 12 V
- 1 pulsador de paro de emergencia

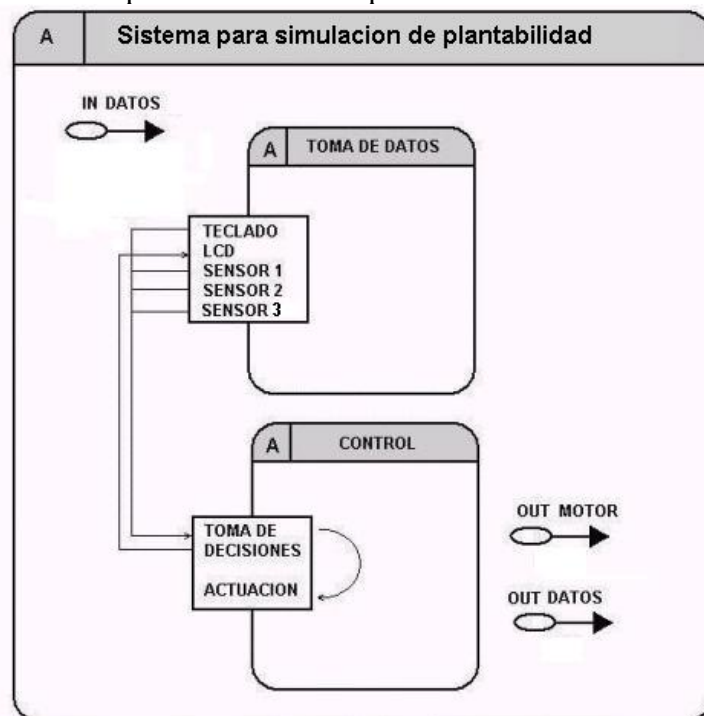
Ver Anexo 1. Plano del circuito electrónico

5.6.2 Diseño arquitectural Para realizar este proceso se elaboró un modelamiento de las especificaciones con representaciones gráficas y textuales, lo que nos permite descomponer el sistema en varios objetos y de esta manera simplificar y optimizar la elaboración del software. Esto contribuye a brindar un diseño consistente que cumple con las especificaciones de los requerimientos.

A continuación se presenta el diseño arquitectural planteado para el sistema para simulación de plantabilidad en el cultivo del maíz.

5.6.2.1 Modelo de primer nivel de jerarquía del sistema

Figura 21. Objeto sistema para simulación de plantabilidad



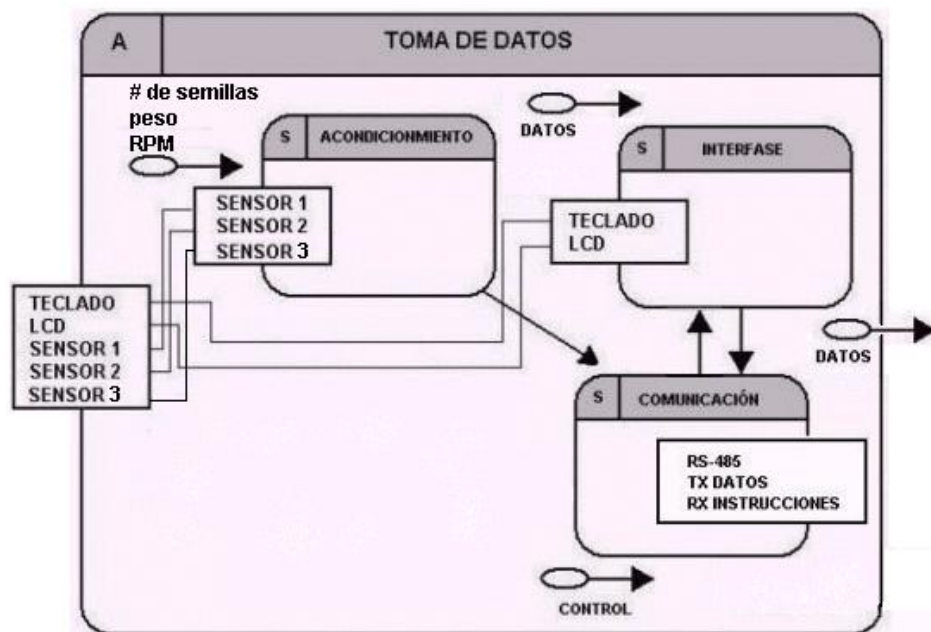
Objeto toma de datos: su función es la de tomar los datos necesarios para el funcionamiento de la máquina estos datos pueden venir del usuario o de los sensores de la misma máquina.

Objeto control : recibe los datos del objeto toma de datos los procesa y es el encargado de tomar todas las decisiones de la máquina, sus funciones

más importantes son la de tomar la decisión de prender y apagar la máquina cuando sea necesario y enviar los datos solicitados por el usuario para que estos sean visualizados.

5.6.2.2 Modelo de segundo nivel de jerarquía objeto *toma de datos*

Figura 22. Objeto toma de datos



Objeto acondicionamiento: su función es la de tomar la señal de los sensores y acondicionarla para hacerla legible por el controlador.

Objeto interfase: es el encargado de comunicar el usuario con el interior del sistema, este consta de dos partes:

Teclado: módulo por el cual el usuario ingresa los datos (tipo de sembradora, relaciones, velocidad) al controlador, interfase usuario-controlador.

Visualización: este módulo le permite al usuario visualizar los datos que el controlador requiere (tipo de sembradora, relaciones, velocidad) y los datos resultados de la simulación (semillas sembradas por metro, distancia entre semillas, peso de semillas sembradas por hectárea, velocidad), interfase controlador-usuario.

Objeto comunicación: es el encargado de comunicar todos los objetos de primer y segundo nivel de jerarquía con el objeto control para que este procese la información.

Este objeto además de comunicar internamente los módulos cuenta con un módulo de comunicación serial por el cual se podrá comunicar la máquina con un PC con el fin de enviar datos y de esta forma poder llevar un inventario del proceso.

5.6.3 Diagramas de flujo Los diagramas de flujo muestran la secuencia que tendrá que seguir el software para el funcionamiento de la máquina, para esta máquina se optó por diseñar dos software con el fin de efectuar las operaciones de sensado en tiempo real.

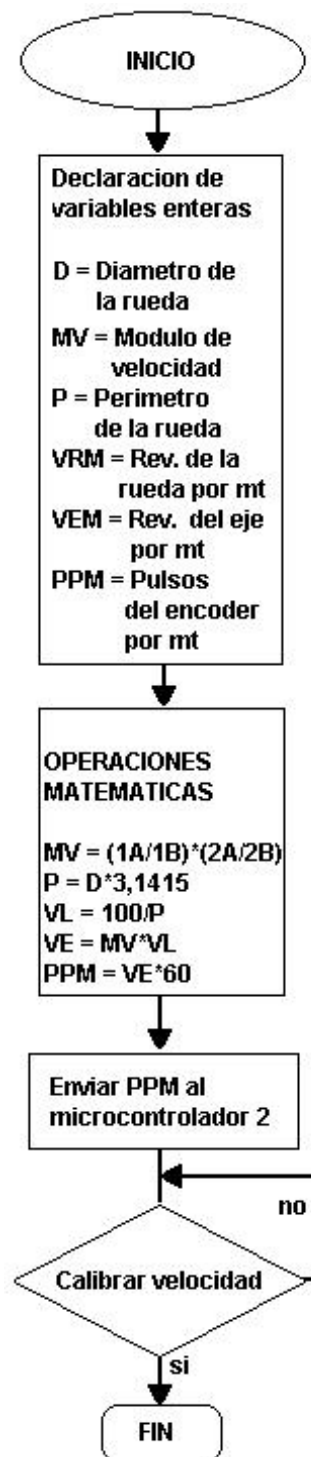
Estos software se implementan cada uno en un microcontrolador y se comunican entre sí paralelamente con el fin de intercambiar datos.

5.6.3.1 Software principal (Microcontrolador 1)

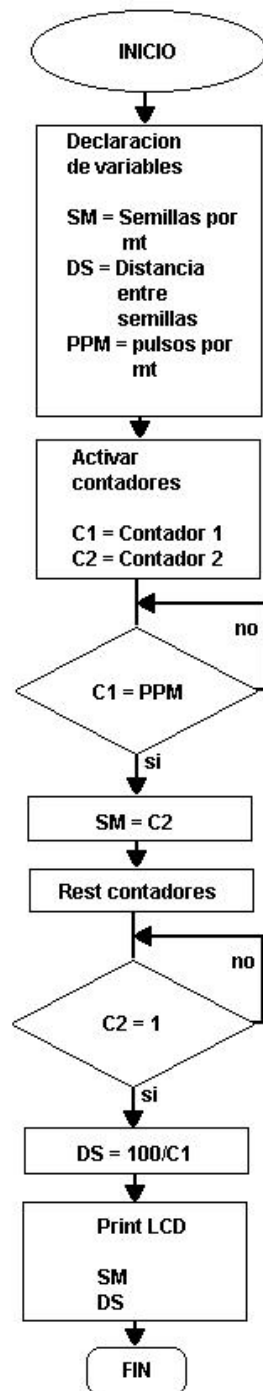
Figura 23. Flujo ingreso de datos



Inicialmente el usuario debe ingresar los datos necesarios para el buen funcionamiento del dispositivo, estos datos se ingresan al sistema secuencialmente como lo ilustra el diagrama.



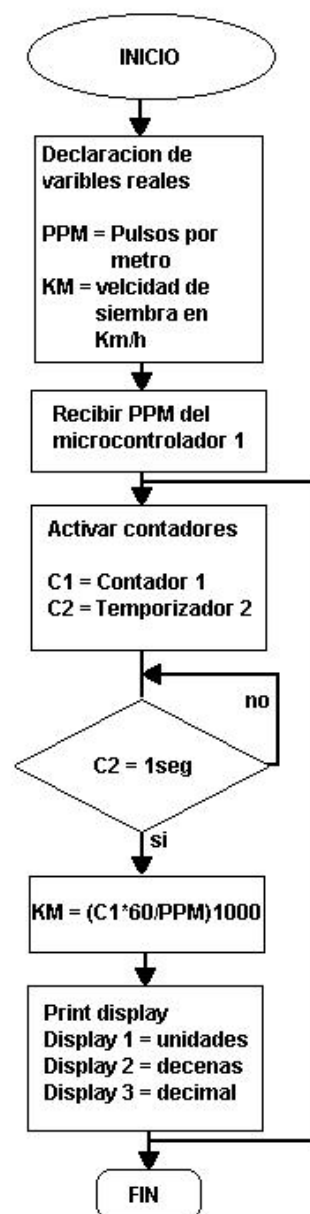
Luego el controlador procesara los datos ingresados por el usuario con el fin de obtener los pulsos que debe enviar el encoder por cada hipotético metro recorrido por la máquina sembradora que se este simulando y, a partir de ellos tomar las mediciones correctas.



Una vez realizadas las operaciones matemáticas necesarias, se procede a tomar las mediciones partiendo de las señales enviadas por los diferentes sensores, y por último mostrarlas al usuario por medio del LCD.

5.6.3.2 Software esclavo (microcontrolador 2) Este software es el encargado de mostrar al usuario la velocidad de siembra en Km/h, a este le llegan datos provenientes del sensor de RPM (encoder) y del software principal, en el diagrama de flujo se puede apreciar las operaciones necesarias para obtener este dato.

Figura 26. Flujo Software esclavo (velocidad)



5.6.4. Documentación mecánica La documentación mecánica de la máquina para simulación de plantabilidad consta de dos etapas; planos de partes propias de la máquina y lista de partes.

5.6.4.1 Planos de partes propias Para la elaboración del diseño mecánico de la máquina se hicieron cuatro planos; plano de la estructura general, plano de acople de las diferentes unidades de siembra, plano de la carcasa frontal y plano de la carcasa trasera.

Estructura General

La estructura general es la encargada de darle cuerpo a la máquina y de sujetar todas las piezas y partes internas de la máquina, a continuación se mencionan algunos datos que se deben tener en cuenta:

- Angulo de acero inoxidable 304 de 1" x 1" x 1/8"
- Soldadura para acero inoxidable Grinox – 10 de 1/8"

Ver Anexo 2. Plano de estructura general

Acople de Unidades de Siembra

Este es un módulo de la máquina cuya función es la de permitir un acople fácil y rápido de las unidades de siembra de las sembradoras que se pueden simular en la máquina (Jhon Deere, Gaspardo, Baldan).

- Lámina de acero inoxidable 304 calibre 14
- Soldadura para acero inoxidable Grinox – 10 de 3/32"

Ver Anexo 3. Plano de acople de unidades de siembra

Carcasas

Su función es dar una buena presentación y proteger las partes internas de la máquina.

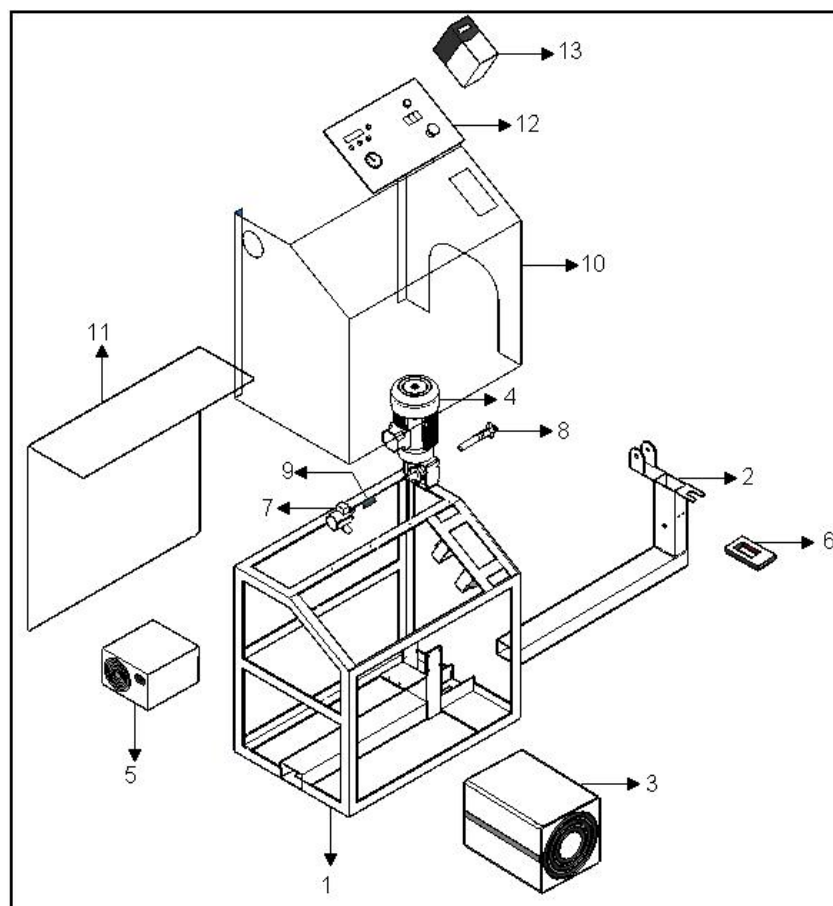
- Lámina de acero inoxidable 304 calibre 14
- Soldadura para acero inoxidable Grinox – 10 de 3/32"

Ver Anexo 4. Plano de carcasa frontal

Ver Anexo 5. Plano de carcasa trasera

5.6.4.2 Lista de partes Esta parte del diseño consta de una imagen explosionada del diseño general de la máquina donde se enumeran y se les da un código a cada una de las piezas que conforman la máquina.

Figura 27. Imagen explosionada



Ítem	Pieza	Descripción
1	Estructura general	Pieza propia
2	Acople de unidad de siembra	Pieza propia
3	Bomba de vacío	Aspiradora Luxomatic 102
4	Motorreductor	CSM 1800 rpm Reducción 7.5 : 1
5	Fuente de poder	Mega 500 atx para PC
6	Sensor óptico de ventana	Balluf BOWA 04-08
7	Encoder incremental	Autonics ENA-60
8	Cardan	Sembradora Gaspardo MT 15220681
9	Acople del encoder	Pieza propia
10	Carcasa frontal	Pieza propia
11	Carcasa trasera	Pieza propia
12	Tablero de mando	Pieza propia
13	Variador de velocidad	Allen Bradley Power Flex-4

5.6.5 Selección de la instrumentación Para este proceso se realizó una evaluación técnico-económica fijando unos criterios de selección y otorgándoles porcentajes, para finalmente hacer una ponderación y por medio de este método identificar cual de los sensores analizados es la mejor opción.

5.6.5.1 Sensor óptico de ventana

Tabla 12. Selección sensor óptico

Criterios de selección	Ideal	%	DI-SORIC OGWS D 25	%	BALLUF BOWA 04-08 (importado)	%	BALLUF BOWA 04-08 (dist.Col)	%	DI-SORIC OTZ 520	%
Resolución	2 mm	100	2 mm	100	0.8 mm	250	0.8 mm	250	3 mm	66.6
Campo de acción	16 cm ²	100	43 cm ²	268	32 cm ²	200	32 cm ²	200	3.3 cm ²	20.6
Frecuencia	2Hz	100	6.6 Hz	330	100 Hz	5000	100 Hz	5000	3.3 Hz	165
Voltaje de suministro	12 V dc	100	18 Vdc	100	12 Vdc	100	12 Vdc	100	12 Vdc	100
Tiempo de entrega	1 día	100	30 días	3.3	15 días	6.6	30 días	3.3	30 días	3.3
Precio	\$700.000	100	\$2'870.000	24.4	\$1'100.000	63.6	\$3'510.000	20	\$1'380.000	50.7
PONDERADO		100	137.6		937.7		929.4		67.7	

5.6.5.2 Encoder incremental

Tabla 13. Selección encoder

Criterios de selección	Ideal	%	AUTONICS	%	OMRON	%	INSTRUMATIC	%	PEPPERL + FUCHS	%
Pulsos por revolución PPR	60	100	60	100	60	100	60	100	60	100
Frecuencia	15 KHz	100	180KHz	1200	30KHz	200	20kHz	133	200KHz	1300
Voltaje de suministro	12 Vol.	100	12 Vol.	100	12 Vol.	100	12 Vol.	100	12 Vol.	100
Tiempo de entrega	1 día	100	1 día	100	60 días	1.7	1 día	100	30 días	3.3
Precio	\$300.000	100	\$400.000	75	\$397.293	75.5	\$1'041.912	31.3	\$659.435	45.5
PONDERADO		100	458.3		92.4		88.1		449.6	

Como se puede observar en las dos graficas anteriores, después de realizar la evaluación técnico-económica el sensor óptico de ventana BOWA 04-08 y encoder incremental marca Autonics de 60 PPR, fueron los sensores seleccionados para conformar la instrumentación del diseño de la máquina para simulación de plantabilidad.

5.6.6 Diseño del tablero de mando

Ver anexo 6. Plano de distribución del tablero de mando

Ver anexo 7. Diseño grafico del tablero de mando

5.7 PROTOTIPADO

El proceso de prototipado se llevo a cabo con los siguientes propósitos:

Comunicación: Realizar el diseño utilizando herramientas computacionales 3D para observar la distribución física de los diferentes componentes o partes del producto, revisando las interacciones espaciales que se pueden presentar. Observar la apariencia final posible del producto.

Aprendizaje: Observar la funcionalidad y determinar los diferentes problemas que puedan presentarse por la interacción de los subconjuntos.

Integración: Integrar los diferentes subsistemas para verificar la congruencia de los mismos y los diversos mecanismos de acople entre ellos para que su funcionamiento sea el mejor posible y poder detectar interacciones incidentales y/o no previstas dentro del plan de desarrollo del dispositivo.

Tipo de Prototipo a Utilizar y Técnica de Prototipado

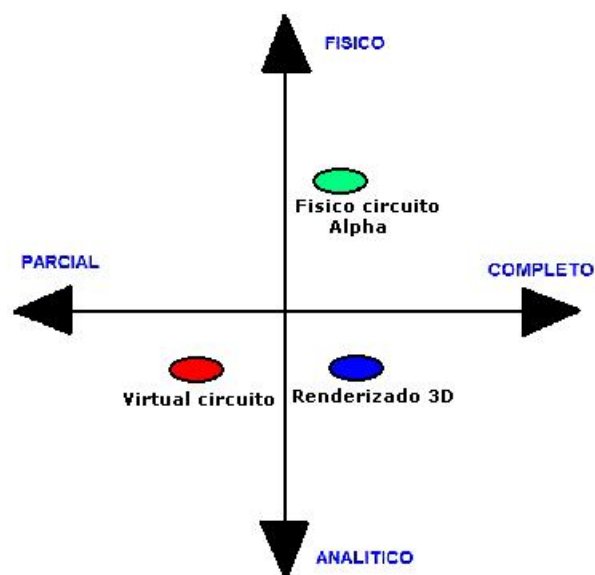
Para esta etapa del proceso de diseño se utilizaron tres tipos de prototipos:

Un prototipo virtual del circuito electrónico que se elaboró con el fin de tener un apoyo para el desarrollo del software de la máquina y probar el funcionamiento del mismo, dicho prototipo fue implementado en un software para simulación de circuitos electrónicos llamado *Proteus*.

Una vez terminado el prototipo mencionado anteriormente, se realizó un prototipo físico del circuito electrónico, éste con el fin de probar físicamente el funcionamiento del circuito realizando la integración de los actuadores y la instrumentación. Una vez terminado este proceso se puede proceder con seguridad al desarrollo del circuito impreso.

También se elaboró utilizando *Solid Edge* un renderizado del diseño completo de la máquina, que permite analizar la distribución espacial y geométrica de los diferentes subsistemas que conformaran el producto final.

Figura 28. Ubicación de los prototipos.



5.7.1 Prototipo virtual del circuito electrónico

Figura 29. Prototipo virtual microprocesador principal

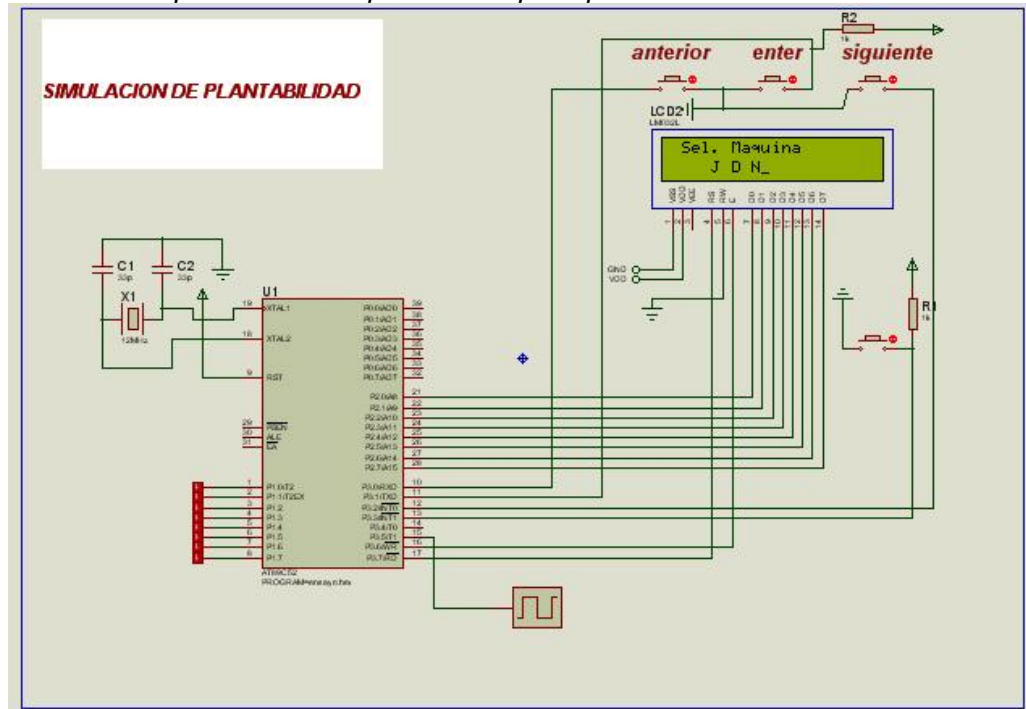
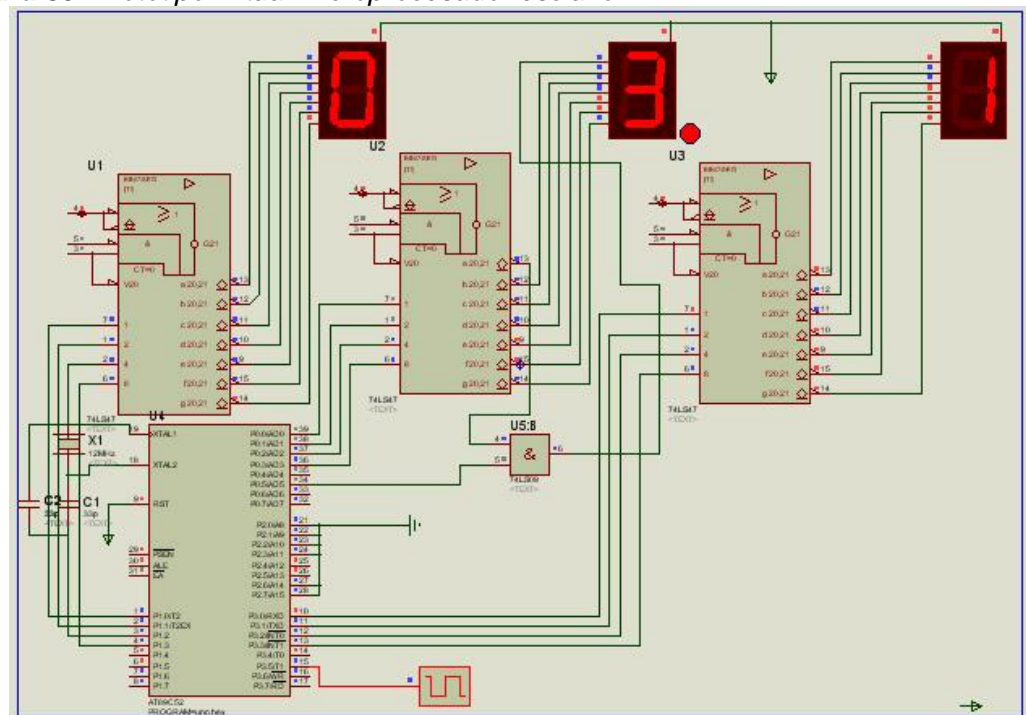
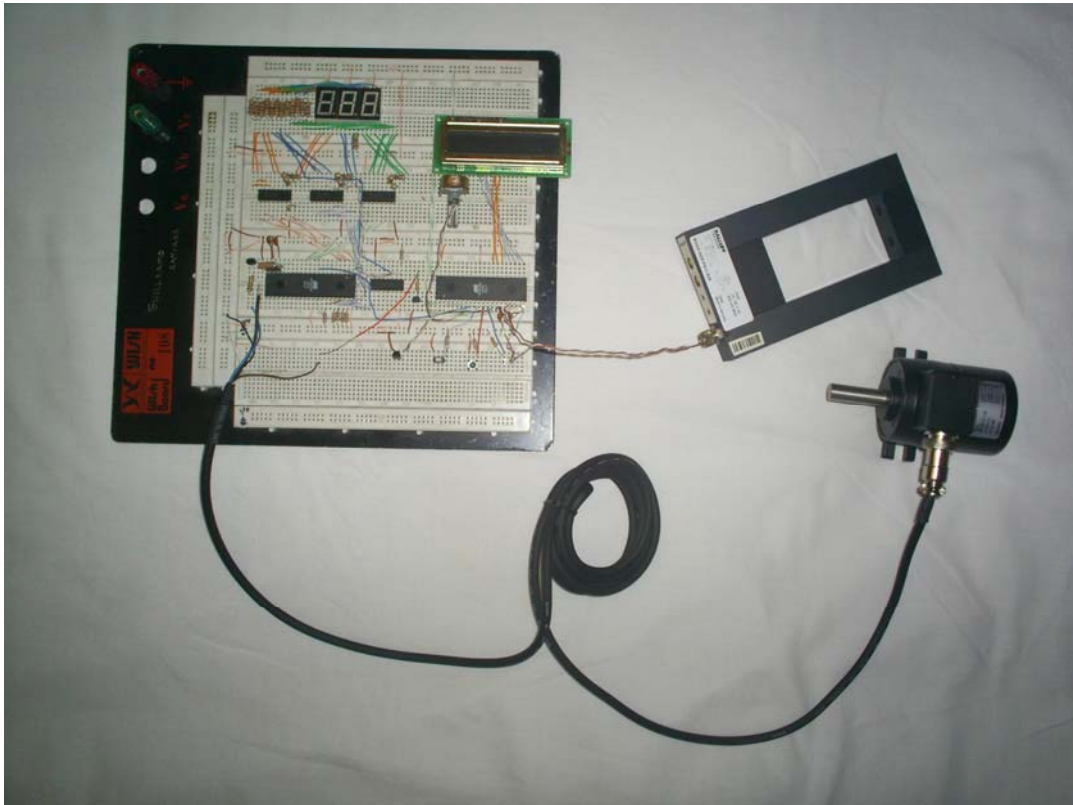


Figura 30. Prototipo virtual microprocesador esclavo



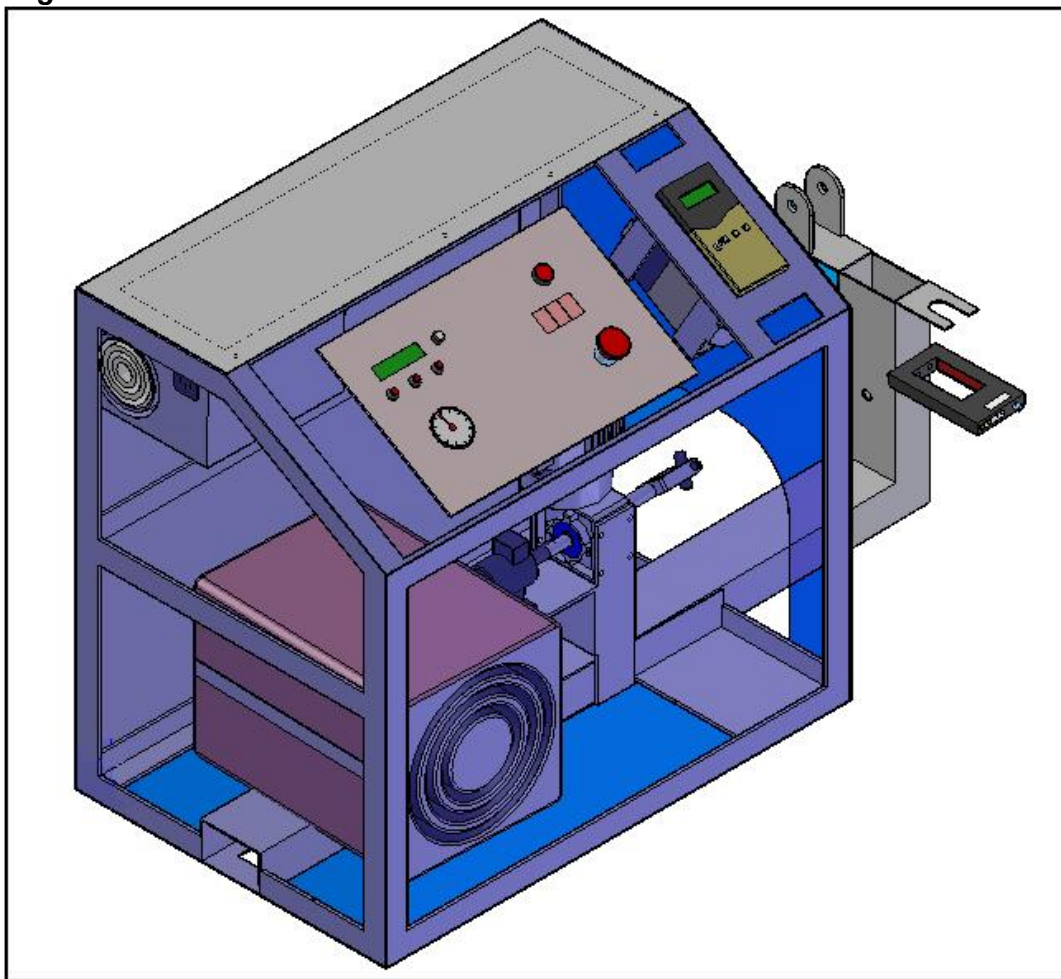
5.7.2 Prototipo físico del circuito electrónico

Figura 31. Prototipo físico del circuito electrónico



5.7.3 Renderizado 3D

Figura 32. *Renderizado 3D*



6. CONCLUSIONES

- Con este proyecto podemos concluir que con el avance tecnológico que se tiene al diseñar este dispositivo, utilizando métodos convencionales como lo es el QFD, la calidad de los productos evoluciona en gran proporción, lo cual es de gran importancia para que nuestro producto tenga mejor calidad y sea competitivo.
- Con la planeación realizada se identifica plenamente que tipo de dispositivo se requiere, y sabiendo claramente cuál es el problema podemos proceder a dar soluciones que satisfagan óptimamente las necesidades planteadas.
- De acuerdo a las ventajas del proceso de desarrollo estructurado se puede obtener documentación del mismo, la cual permite un diseño organizado y eficiente.
- El proceso de desarrollo estructurado es una herramienta de gran importancia para los diseñadores de productos, pues permite la interacción de todas las partes involucradas en el desarrollo del mismo (usuarios, diseñadores, entre otros) y la reiterativa realimentación, que amplía el horizonte de acción del grupo de trabajo para permitir la concepción de un producto competitivo.
- El general, seleccionar y probar los conceptos mediante métodos estructurados y no estructurados permite el visualizar múltiples soluciones y combinaciones de éstas para poder implementarlas y documentarlas adecuadamente dentro del proceso de diseño y desarrollo de productos.
- Una vez terminado el proceso de diseño se cito una reunión de la junta directiva de la empresa en la que fue expuesto todo el proceso, en dicha reunión la junta decidió que la máquina debe ser construida y se fijaron cuatro

utilidades principales que prestará la máquina a la empresa, a saber: control de calidad de las clasificaciones realizadas en la planta, reducción de calibres de semillas, prestación de asesorías técnicas a los clientes y realización de demostraciones en eventos organizados por la empresa.

Esta decisión fue muy gratificante para todo el equipo de diseño ya que se vieron los frutos de un organizado proceso de diseño.

- El sector agrario es la base económica de muchos de los países de la zona latinoamericana, por lo tanto el efecto de la poca competitividad provocado por los altos costos para producir productos de calidad, la necesidad de una elevada producción y la falta de apoyo económico en ciencia y tecnología, crea problemas sociales de gran magnitud. Es por esta razón que es interesante, y altamente necesario realizar aportes de investigación y desarrollo tecnológico en este sector económico del país.

7. RECOMENDACIONES

- Durante el tiempo que se dedicó a presentar esta pasantía en la empresa Syngenta S.A., se realizó un estudio detallado sobre los tipos de máquinas sembradoras utilizadas en las diferentes regiones del país, el que se pudo notar que en la región de la Costa Atlántica colombiana los agricultores en su gran mayoría realizan sus siembras utilizando sembradoras cero labranza marca *Tatu* de fabricación brasilera. Teniendo en cuenta que gran parte de las ventas realizadas por la empresa se hacen en dicha región del país, sería de gran necesidad incluir en la lista de sembradoras compatibles con la máquina para simulación de platabilidad de la unidad de siembra de dicha máquina.
- Para llevar el registro de las simulaciones realizadas por la máquina se elaboró un formato en excel que el usuario debe llenar manualmente. Sería interesante desarrollar un software que automáticamente ingrese estos datos al formato cada vez que se realice una simulación, ya que la máquina cuenta con un puerto serial que se comunica con el microprocesador principal.
- Syngenta Colombia maneja toda la región Andina de Latinoamérica (Colombia, Perú, Ecuador, Venezuela), por lo cual es conveniente diseñar una máquina de éste tipo para cada sucursal partiendo de las diferentes necesidades de cada país, y de esta forma la empresa pueda prestar este servicio en toda la región.

BIBLIOGRAFÍA

Jhon Deere Planters : Jhon Deere Air Seeding Equipment. Detroit : Jhon Deere, 1999. 5 p

Jhon Deere Planters : planters 2570, 2571, 2572. Detroit : Jhon Deere, 1999. 5 p

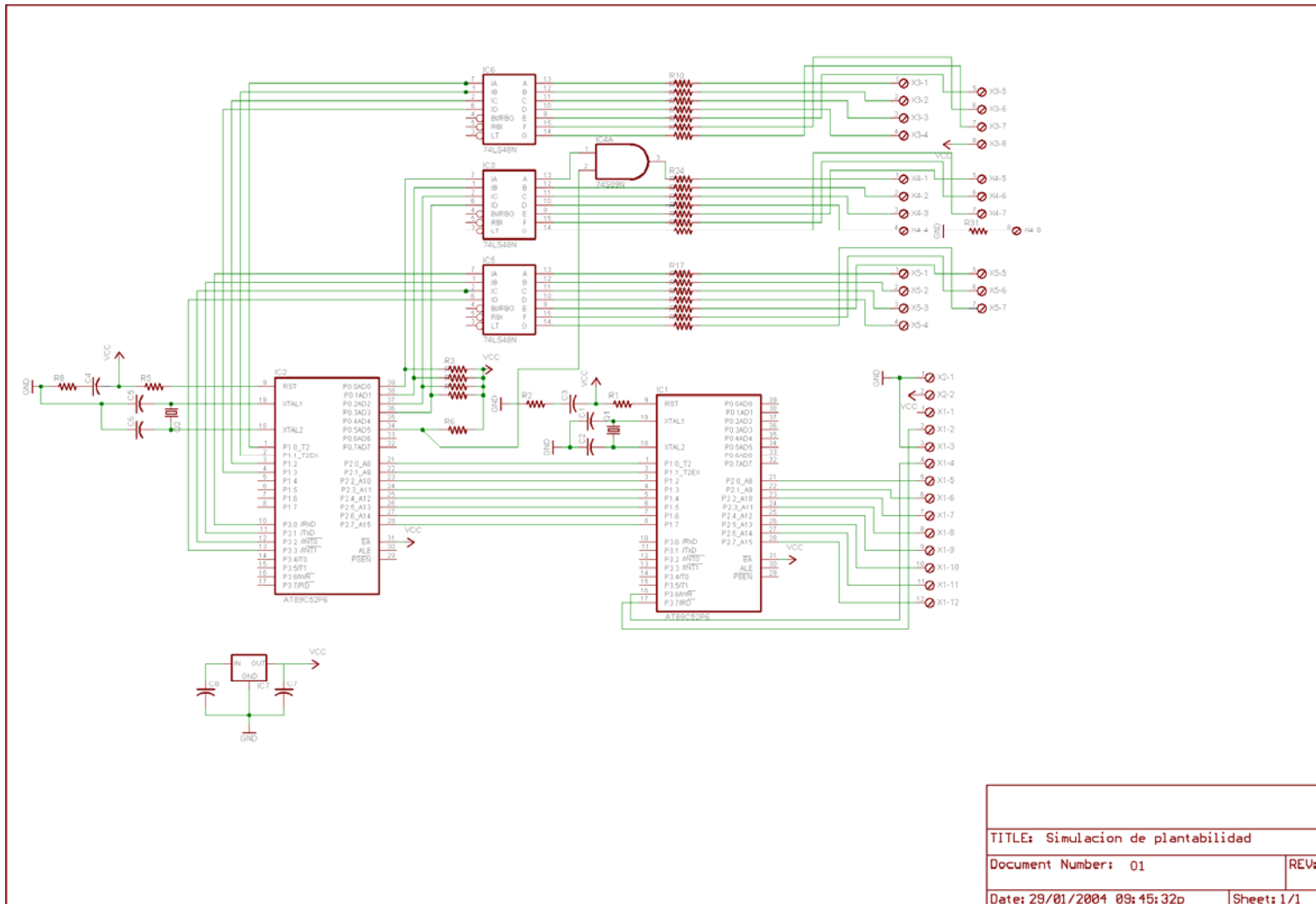
OTTO, K. Products Designs : Techniques in Reverse Engineering and New Product Development. 2 ed. New York : Prentice Hall, 2001. 649 p

Plantadoras Montana : Plantadora Neumática Montana. Bogota : 2004. 3 p

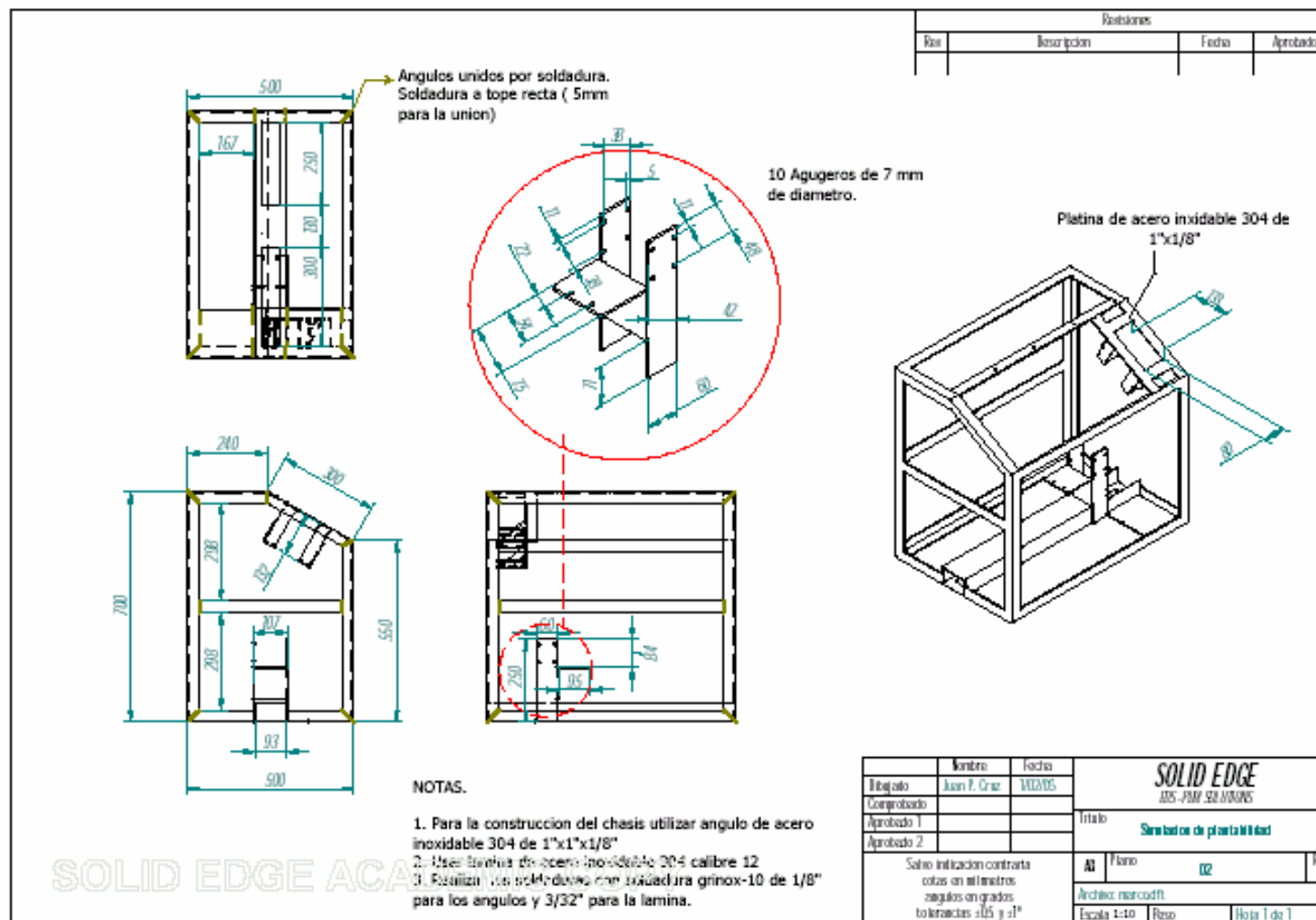
Sembradora de precisión Baldan : PP SOLO Speed Box C3. Sao Pablo: 2001. 8 p

ULRICH, Karl T. Products Designs : Product Design and Development. 2 ed. New York: Mc : Graw Hill, 2000. 483 p

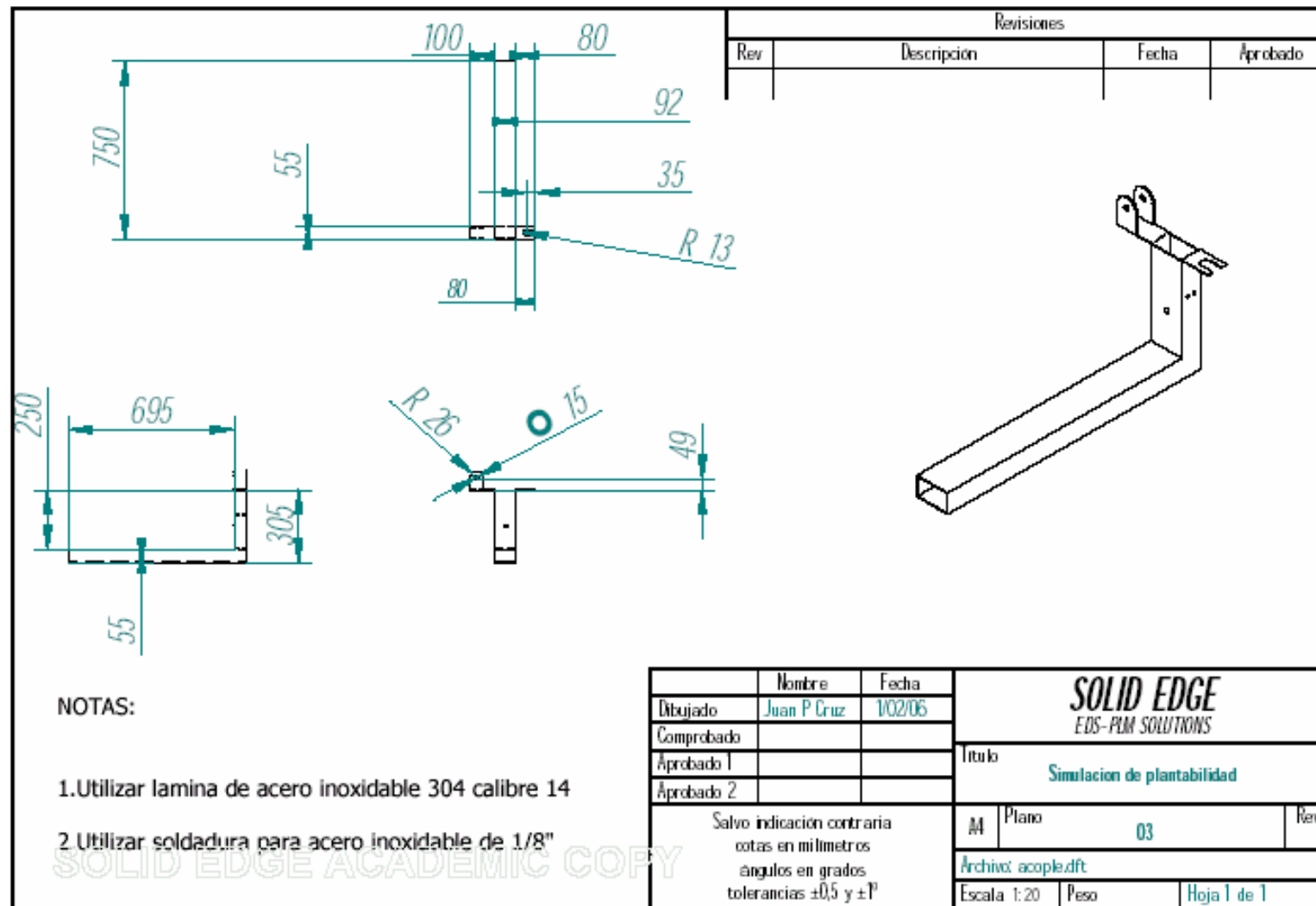
Anexo 1. Plano del circuito electrónico



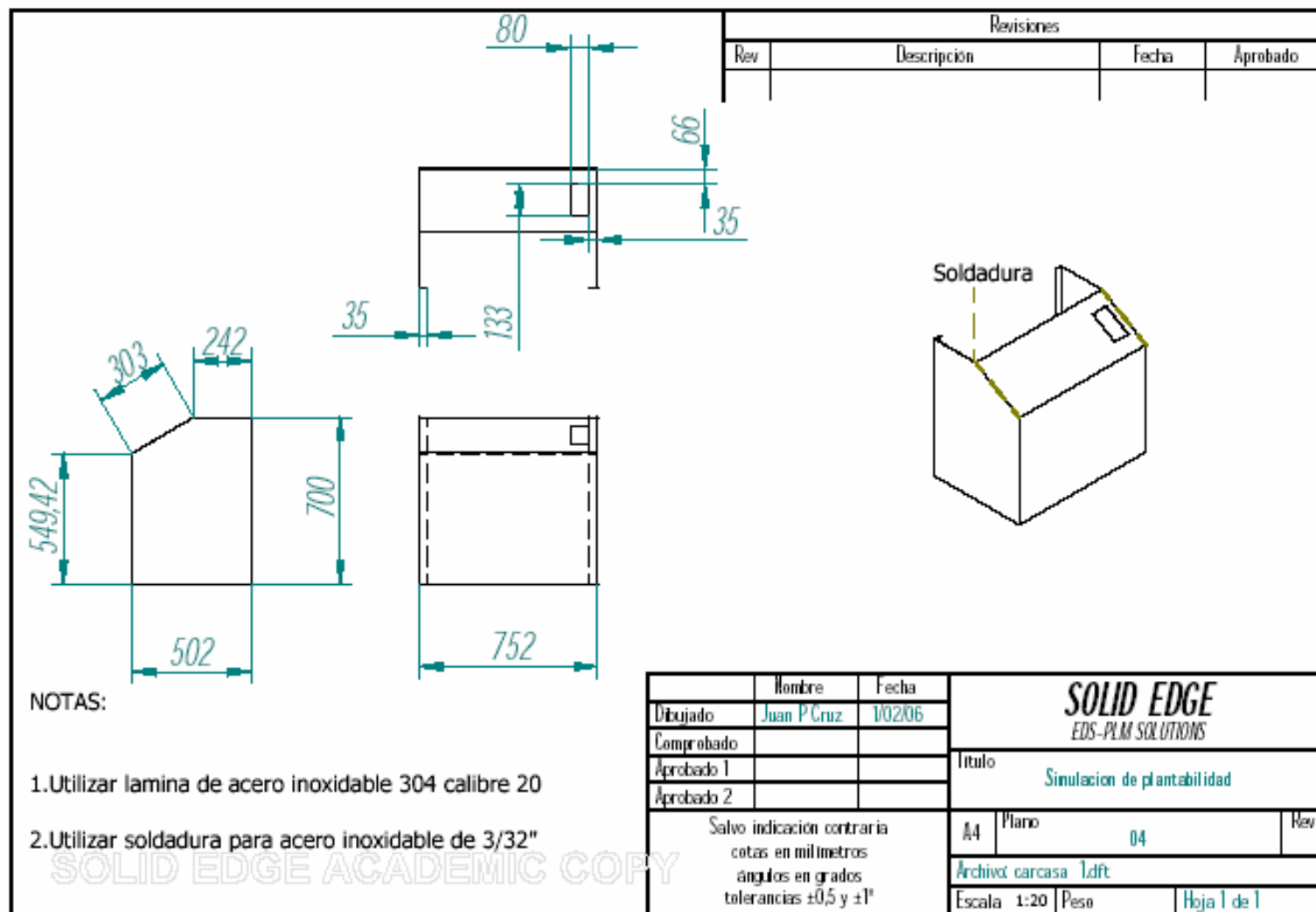
Anexo 2. Plano de estructura general



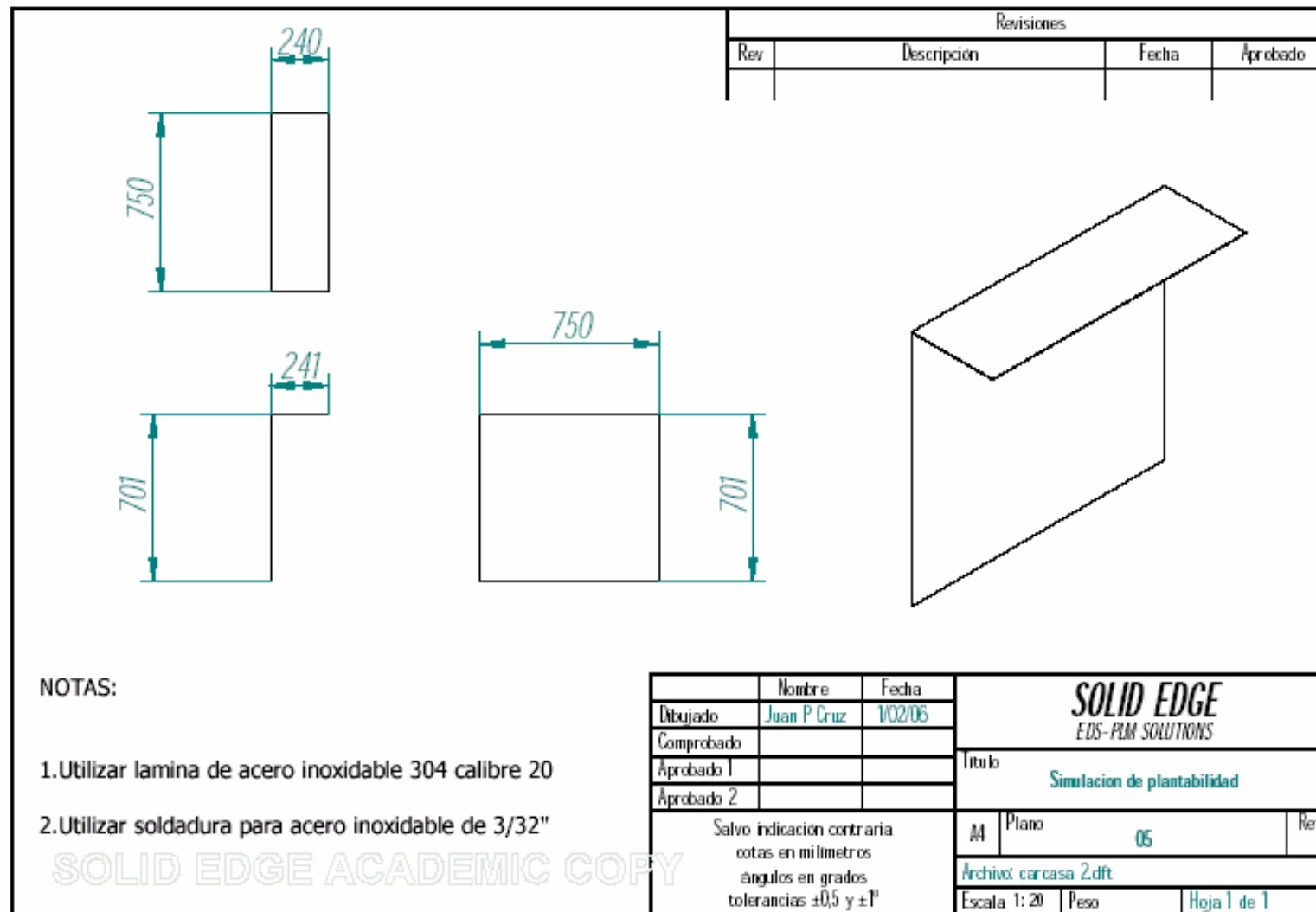
Anexo 3. Plano de acople de unidades de siembra



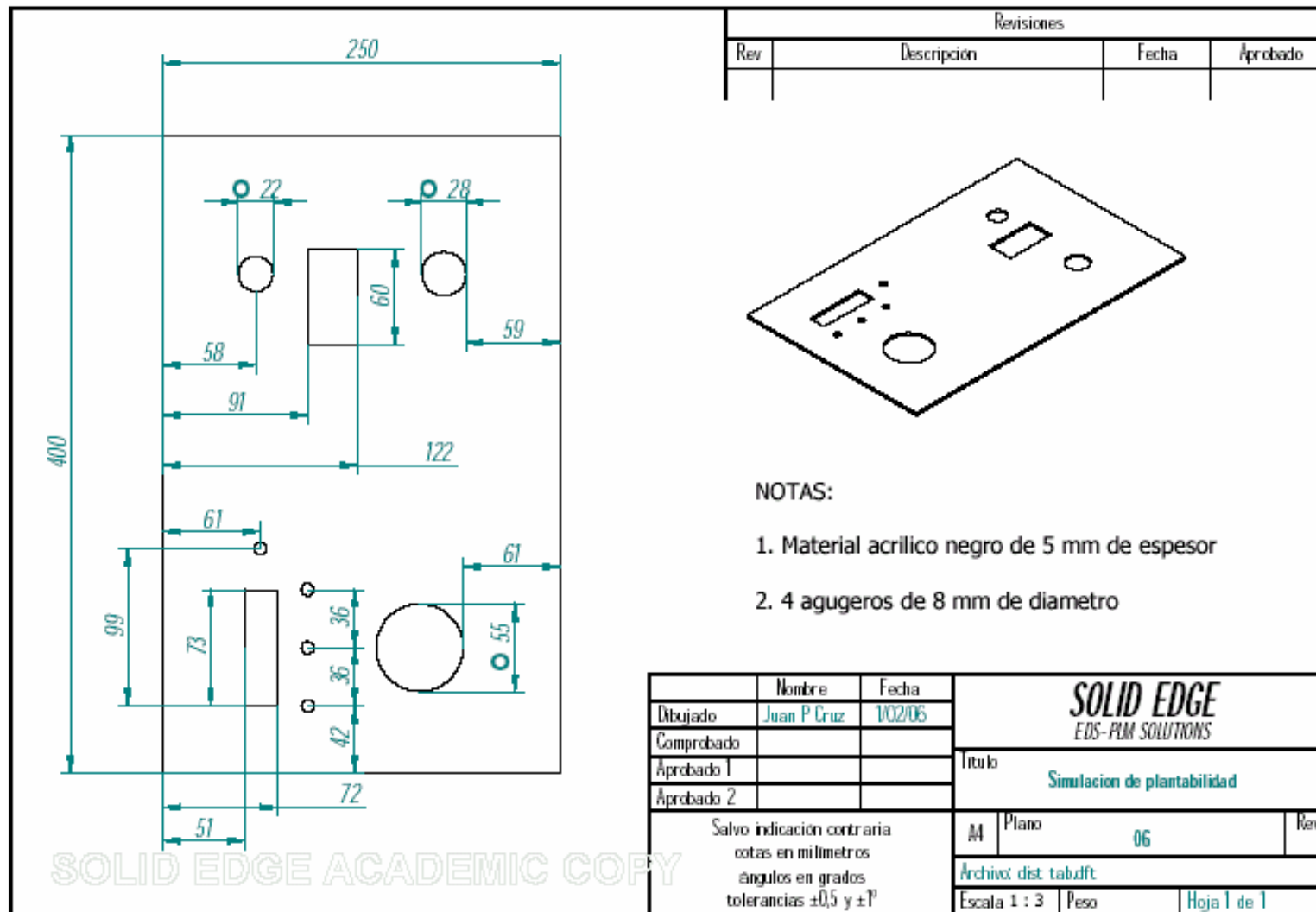
Anexo 4. Plano de carcasa frontal



Anexo 5. Plano de carcasa trasera



Anexo 6. Plano de distribución del tablero de mando



Anexo 7. Diseño del tablero de mando



Anexo 8. Instrucciones de uso

1. Acople la unidad de siembra que desea utilizar como se muestra en le manual de usuario
2. Encienda la máquina desde el botón de encendido general.
3. Seleccione la máquina que desea simular utilizando las flechas situadas en la parte inferior de la pantalla, una vez seleccionada pulse enter para continuar, en caso de que la máquina deseada no este en la lista seleccione otras y siga los pasos como se explica en el manual de usuario.
4. Seleccione la relación 1 A basándose en las tablas de relaciones del manual de usuario, utilice el teclado para seleccionar dicha relación, una vez seleccionada presione enter para continuar.
5. Repita el paso anterior para seleccionar las relaciones 1 B, 2 A, 2 B.
6. Calibre la velocidad de siembra desde el variador de velocidad, una vez ajustada la velocidad de siembra pulse enter para continuar.
7. Espere mientras la máquina toma los datos necesarios, en pantalla aparecerá RUN....
8. La máquina mostrará como resultado las semillas sembradas en un surco de 10 mts. de largo, y en la parte inferior del depósito de semillas sembradas se mostrará el peso de dichas semillas, una vez tomados estos datos pulse enter para continuar.

9. La máquina arrancará de nuevo y arrojará en pantalla 4 datos aleatorios de distancias entre semillas.

10. Luego de tomar estos datos la prueba será finalizada, para repetirla pulse enter y repita los pasos desde el número 3, de lo contrario apague la máquina desde el botón de encendido general.

11. En caso de emergencia oprima el pulsador de paro de emergencia. Una vez superado el inconveniente gire dicho pulsador en sentido horario para reanudar la prueba.

Anexo 9. Presupuesto

RECURSOS	Costo
Elementos de escritorio y papelería	\$ 40.000
Comunicaciones(teléfono, fax, internet)	\$ 60.000
Bibliografía	\$ 400.000
Transporte y gastos de viajes	\$ 500.000
Materiales	
<i>Parte mecánica</i>	
Motor	\$ 693.800
Reductor	\$ 250.000
Bomba de vacío	\$ 300.000
Estructuras	\$ 700.000
<i>Parte electrónica</i>	
Integrados	\$ 70.000
Dispositivos de interfase (pantallas, teclados, relojes, etc.)	\$ 240.000
Variador de velocidad	\$ 450.000
Sensores	\$ 700.000
Impresos	\$ 50.000
Instrumentación	
<i>Unidades de máquinas sembradoras</i>	
Jhon Deere mecánica	\$ 1.164.524
Gaspardo	\$ 2.121.000
Baldam	\$ 431.131
Mano de obra	
Talleres	\$ 1.000.000
Diseñador gráfico	\$ 150.000
Costos varios	\$ 1.000.000
Costo de la máquina	\$ 6.103.800
Total-unidades de sembradoras:	\$ 3.716.655
Gran total:	\$ 9.820.455

Anexo 10. Paper formato ifac

DISEÑO DE MÁQUINA PARA SIMULACIÓN DE PLANTABILIDAD EN EL CULTIVO DEL MAÍZ

Juan Pablo Cruz Sánchez
juanpcruz81@hotmail.com

Universidad Autónoma de Occidente
División de Automática y Electrónica
Ingeniería Mecatrónica

Abstract: Inicialmente se elabora un estudio detallado de las necesidades que la empresa Syngenta S.A. tiene pensado suplir con esta máquina, una vez terminado el estudio de necesidades se generan diferentes conceptos que suplan dichas necesidades, de los conceptos generados solo uno será seleccionado por medio de un tamizaje y una selección de conceptos, luego se realizaran pruebas a el concepto seleccionado donde se comprobara si este es apto para ser desarrollado, por ultimo se realiza un diseño detallado que servirá de guía para la posible construcción de la máquina.

Keywords: Máquina sembradora, Unidad de siembra, Sensor óptico de ventana, Encoder, Necesidades del cliente, Microcontrolador.

INTRODUCCIÓN

Uno de los procesos más importantes para los agricultores, es el proceso de siembra ya que de una buena siembra depende una buena cosecha, es por esta razón que en los últimos años se ha incorporado mucha tecnología en las sembradoras logrando hacer de éstas, máquinas de alta precisión, pero para obtener un buen resultado es necesario que el agricultor realice una adecuada calibración previa a la siembra, labor que a veces es bastante engorrosa ya que existen muchos calibres y formas de semillas.

La empresa productora de semillas Syngenta S.A. quiere darle un valor agregado a su producto entregando al agricultor los datos para la calibración de sus máquinas sembradoras.

Además también se hace necesario para la empresa probar que los calibres y las formas de las semillas producidas en la planta se adapten a estas máquinas sembradoras, para de esta manera tener un mejor control de calidad.

2. DEASRROLLO DEL CONCEPTO

2.1. Planteamiento de la misión

Descripción del Producto:

- Máquina estacionaria para simular la plantabilidad de las máquinas sembradoras de maíz.

Principales Objetivos de Marketing:

- Probar que los diferentes calibres de semillas producidos en la planta coincidan con los diferentes tipos de máquinas sembradoras existentes en el mercado colombiano y venezolano.
- Asesorar a los agricultores a la hora de realizar la siembra.
- Desarrollar un sistema simple y funcional.

Mercado Primario:

- Empresas productoras de semillas.

Mercado Secundario:

- Distribuidores de maquinaria agrícola.
- Agricultores.

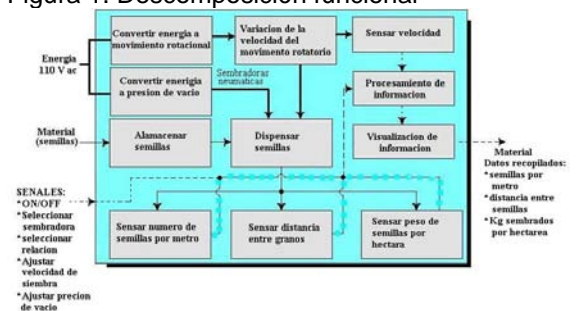
Premisas y Restricciones:

- El tamaño y peso del dispositivo debe ser el adecuado para un equipo de este tipo.
- Se trabajará en lugares donde sólo se cuenta con instalaciones eléctricas monofásicas de 110 voltios
- Facilidad de mantenimiento y reparación.
- Buena estética (diseño industrial).

Partes Implicadas:

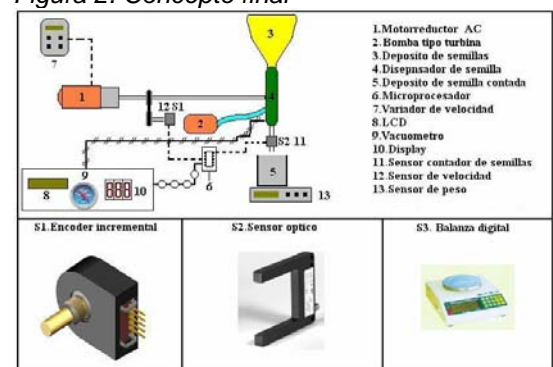
- Planta de producción.
- Departamento control de calidad.
- Personal de ventas.
- Distribuidores de maquinaria agrícola
- Proveedores de partes y elementos

Figura 1. Descomposición funcional



2.2. Concepto generado, seleccionado y probado

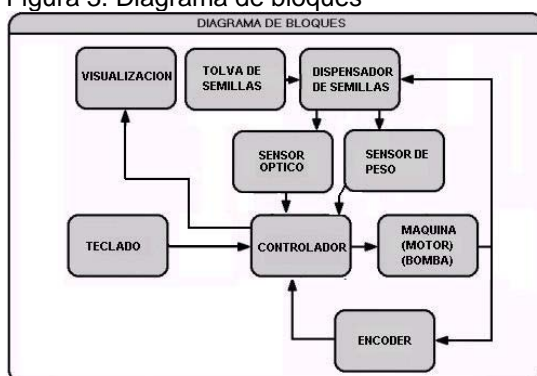
Figura 2. Concepto final



3. DISEÑO DE CONCEPTO SELECCIONADO

El diseño de la máquina para simulación de plantabilidad se dividió en seis etapas; documentación electrónica, diseño arquitectural, diagramas de flujo, documentación mecánica y selección de la instrumentación y diseño del tablero de mando; las cuales se trabajaron en forma concurrente.

Figura 3. Diagrama de bloques



3.1 Documentación electrónica

El sistema es alimentado directamente de la red eléctrica local de 110 V y 60 Hz, de la cual se derivan las conexiones para los diferentes dispositivos.

Esta parte consta de dos etapas:

Etapla eléctrica (110 Vac)

Esta etapa es la encargada del suministro de corriente para los dispositivos que funcionan directamente con 110 Vac y 60 Hz de frecuencia.

Esta etapa cuenta con los siguientes elementos:

- Motorreductor eléctrico ac ¼ hp a 250 RPM
- Variador de velocidad Power Flex 4
- Bomba de vacío de turbina

Etapla electrónica (12 y 5 Vdc)

Para el suministro de corriente del circuito se utiliza una fuente AC-DC, a la que le entra un voltaje de 110 Vac y entrega voltajes de 12 y 5 Vdc.

El circuito básicamente consta de dos microcontroladores atmel 89c52 de la familia 51, encargados de recibir los datos del usuario y los sensores, procesarlos para posteriormente enviar las señales a los actuadores y entregar los datos solicitados por el usuario.

3.2 Diseño arquitectural

Para realizar este proceso se elaboró un modelamiento de las especificaciones con representaciones gráficas y textuales, lo que nos permite descomponer el sistema en varios objetos y de esta manera simplificar y optimizar la elaboración del software. Esto contribuye a brindar un diseño consistente que cumple con las especificaciones de los requerimientos.

3.3 Diagramas de flujo

Los diagramas de flujo muestran la secuencia que tendrá que seguir el software para el funcionamiento de la máquina, para esta máquina se optó por diseñar dos software con el fin de efectuar las operaciones de sensado en tiempo real.

Estos software se implementan cada uno en un microcontrolador y se comunican entre sí paralelamente con el fin de intercambiar datos.

3.4 Documentación mecánica

La documentación mecánica de la máquina para simulación de plantabilidad consta de dos etapas; planos de partes propias de la máquina y lista de partes.

Planos de partes propias

Para la elaboración del diseño mecánico de la máquina se hicieron cuatro planos; plano de la estructura general, plano de acople de las diferentes unidades de siembra, plano de la carcasa frontal y plano de la carcasa trasera.

Estructura General

La estructura general es la encargada de darle cuerpo a la máquina y de sujetar todas las piezas y partes internas de la máquina.

Acople de Unidades de Siembra

Este es un módulo de la máquina cuya función es la de permitir un acople fácil y rápido de las unidades de siembra de las sembradoras que se pueden simular en la máquina (Jhon Deere, Gaspardo, Baldan).

Carcasas

Su función es dar una buena presentación y proteger las partes internas de la máquina.

Lista de partes

Esta parte del diseño consta de una imagen explosionada del diseño general de la máquina donde se enumeran y se les da un código a cada una de las piezas que conforman la máquina.

Figura 4. Imagen explosionada

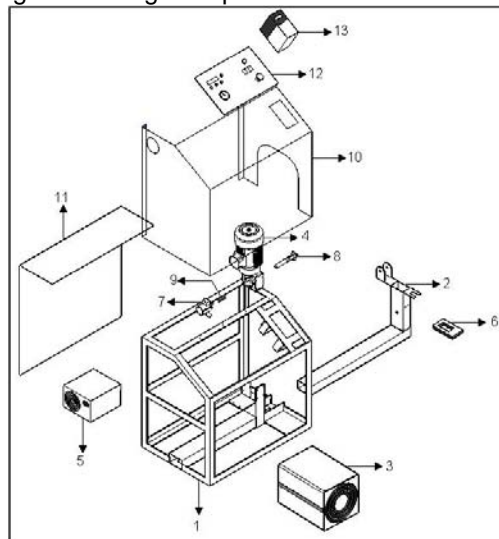


Tabla 1. Lista de partes

Ítem	Pieza	Descripción
1	Estructura general	Pieza propia
2	Acople de unidad de siembra	Pieza propia
3	Bomba de vacío	Aspiradora Luxomatic 102
4	Motorreductor	CSM 1800 rpm Reducción 7.5 : 1
5	Fuente de poder	Mega 500 atx para PC
6	Sensor óptico de ventana	Balluf BOWA 04-08
7	Encoder incremental	Autonics ENA-60
8	Cardan	Sembradora Gaspardo MT 15220681
9	Acople del encoder	Pieza propia
10	Carcasa frontal	Pieza propia
11	Carcasa trasera	Pieza propia
12	Tablero de mando	Pieza propia
13	Variador de velocidad	Allen Bradley Power Flex-4

3.5 Prototipado

El proceso de prototipado se llevo a cabo con los siguientes propósitos:

Comunicación: Realizar el diseño utilizando herramientas computacionales 3D para observar la

distribución física de los diferentes componentes o partes del producto, revisando las interacciones espaciales que se pueden presentar. Observar la apariencia final posible del producto.

Aprendizaje: Observar la funcionalidad y determinar los diferentes problemas que puedan presentarse por la interacción de los subconjuntos.

Integración: Integrar los diferentes subsistemas para verificar la congruencia de los mismos y los diversos mecanismos de acople entre ellos para que su funcionamiento sea el mejor posible y poder detectar interacciones incidentales y/o no previstas dentro del plan de desarrollo del dispositivo.

Prototipo virtual 3D

Figura 5. Renderizado 3D

